Aus der Abteilung für Zahnärztliche Prothetik
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. E. Körber
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Tübingen

Vergleichsmakroskopische Untersuchung über den Einfluß des Abformmaterials auf die Genauigkeit des Modellstumpfes

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von
Ralf Dieter Eisenmann
aus Rastatt/Baden

1983

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547603_0038

Aus der Abteilung für Zahnärztliche Prothetik
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. E. Körber
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Tübingen

Vergleichsmakroskopische Untersuchung über den Einfluß des Abformmaterials auf die Genauigkeit des Modellstumpfes

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von
Ralf Dieter Eisenmann
aus Rastatt/Baden

1983

Dekan:	Professor Dr. W. Frommhold
1. Berichterstatter:	Professor Dr. E. Körber
2. Berichterstatter:	Privatdozent Dr. G. Schmalz

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

REFO-DRUCK HANS VOGLER TÜBINGEN

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1.	EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG	1
2.	LITERATURÜBERSICHT	3
3.	MATERIAL UND METHODE	11
3.1.	Die Stümpfe	11
3.2.	Die Abformung	13
3.2.1.	Die Abformlöffel	13
3.2.2.	Chemische Grundlage der Abformmaterialien	14
3.2.3.	Verwendete Abformwerkstoffe und ihre Verarbeitung	16
3.2.4.	Die Abformmethode zur Herstellung der Modelle	18
3.3.	Die Vergleichsmakroskopie	21
3.3.1.	Technische Beschreibung des Vergleichsmakroskopes	21
3.3.2.	Durchführung des Vergleichsverfahrens	21
3.4.	Das Auswerteverfahren	23
4.	ERGEBNISSE	25
4.1.	Tangentialpräparation	27
4.2.	Schulterpräparation	29
4.3.	Hohlkehlpräparation	31
4.4.	Hohlkehlpräparation mit Abschrägung	33
4.5.	Stufenpräparation	36
4.6.	Stufenpräparation mit Abschrägung	40
4.7.	Allgemeine Betrachtung der Ergebnisse	40
5.	DISKUSSION	42
5.1.	Material und Abformmethode	42
5.2.	Meßverfahren	50
6.	AUSBLICK	51
7.	ZUSAMMENFASSUNG	52
8.	LITERATURVERZEICHNIS	53
9.	ANHANG	58

DANKSAGUNG

LEBENSLAUF

1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Die Form- und Wiedergabegenauigkeit einer Abformung ist für den Zahnarzt und den Zahntechniker von großer Bedeutung für die Herstellung von originalgetreuen Modellstümpfen. Nur eine hohe Genauigkeit sowohl des Modellstumpfes, als auch des gesamten Zahnbogens schaffen die Möglichkeit, maßgenauen, festsitzenden Zahnersatz herzustellen und einzugliedern.
Für die Herstellung solcher Arbeitsmodelle in der Kronen- und Brückentechnik sind heute zwei Abformmethoden gebräuchlich, bei denen eine Gesamtabformung des Kiefers und den beschliffenen Pfeiler erfolgt. Dies sind:

1. Die einzeitige Abformung

Bei der einzeitigen Abformung wird die Zahnfleischfurche mit einem niederviskösen Material mit Hilfe einer Abdruckspritze gefüllt und der Stumpf umspritzt. Darüber erfolgt der Abdruck mit einem hochviskösen Material, das in einen Löffel appliziert wurde.
Dieses Verfahren kann sowohl mit gummielastischen Materialien (Silikonen) als auch mit Hydrokolloiden durchgeführt werden.

2. Die zweizeitige Abformung

Bei der zweizeitigen Abformung wird zunächst mit einem zähplastischen Silikon ein Erstabdruck genommen, der mit einem niederviskösen Material korrigiert wird. Zur Korrektur wird dieses leichtfließende Silikon in die Zahnfleischfurche gespritzt und der Pfeiler damit ummantelt. Der Erstabdruck wird reponiert und der Überschuß an Zweitmaterial mit initialer Druckanwendung ausgepreßt. Damit das sich stauende Korrekturmaterial den Erstabdruck nicht deformiert, ist es zweckmäßig, Abflußrillen anzubringen und das Zweitmaterial nur in geringer Schichtdicke aufzutragen. Diese Abformmethode wird nur mit gummielastischen Materialien durchgeführt.
Um Vor- und Nachteile dieser verschiedenen Abformmethoden und der dabei verwendeten Materialien herauszuarbeiten, haben sich viele Autoren in wissenschaftlichen Untersuchungen

dieser Problematik zugewandt. Dafür wurden in der Regel stilisierte Stümpfe und Pfeiler aus Metall verwendet. Durch die Verwendung dieser zahnunähnlichen Materialien lagen andere Bedingungen als im Mund vor, die die Ergebnisse der Untersuchungen beeinflußt haben. Aus diesem Grunde wurde nach einem Prüfsystem gesucht, welches es gestattet, natürliche,beschliffene Zahnstümpfe mit den durch eine Abformung hergestellten Modellstümpfen vergleichen zu können. Diese Möglichkeit ergab sich mit einem optischen Verfahren, der Vergleichsmakroskopie. Dieses in der Kriminalistik angewendete Verfahren erlaubt es, Ur- und Zweitmodelle auf ihre Unterschiede in Form und Größe zu vergleichen.

In der hier vorliegenden Arbeit soll an extrahierten Prämolaren, die unterschiedlich präpariert wurden, die Genauigkeit verschiedener Abformmaterialien untersucht werden. Folgende Aspekte finden dabei besondere Beachtung:

1. Ist es überhaupt möglich, die Vergleichsmakroskopie auf zahnärztlich-werkstoffkundliche Belange anzuwenden?

2. Sind additionsvernetzte Silikone kondensationsvernetzten Materialen überlegen?

3. Lassen sich mit einphasigen Abformungen bessere Ergebnisse erzielen als mit der zweiphasigen Methode?

4. Sind die gefundenen Abweichungen der Modellstümpfe vom Zahnstumpf mit den in der Literatur angegebenen Werten, die mit künstlichen Stümpfen gemessen wurden, vergleichbar und wo liegen die Unterschiede?

2. LITERATURÜBERSICHT

Bei der Durchsicht der vorliegenden Veröffentlichungen über Form- und Wiedergabetreue elastischer Abformmaterialien fällt auf, daß über die seit 1975 auf dem Markt befindlichen additionsvernetzten Silikone(Polyvinylsiloxane) sehr wenige vergleichbare Arbeiten vorliegen.
Weiterhin muß bemerkt werden, daß die Abformmaterialien durch die Hersteller im Laufe der Zeit teilweise in ihrer Zusammensetzung verändert wurden.

ILG, V.K. (13) hat sich schon sehr früh (1958-1960) mit den Silikonen beschäftigt.
Er nahm mit LASTIC-55 an einem Metallprüfkörper, der stilisiert einen Zahnstumpf mit Tangentialpräparation wiedergab, Kupferbandabdrücke. Beim Überprüfen der gewonnenen Abdrücke mit einem optischen Meßverfahren konnte er eine Verkleinerung des Abdrucklumens sowohl in der Horizontalen als auch in der Vertikalen finden, wenn die Abformungen eine Stunde gelagert waren. Mit zunehmenden Alter der Abdrücke stellte er eine Expansion des Lumens fest, die nach 24 Stunden etwa 60 µm betrug.
In weiteren Untersuchungen ging er der Frage nach, welchen Einfluß auf das Dimensionsverhalten der Silikone die Temperatur und die Materialschichtdicke haben. Er kam zu dem Ergebnis, daß beim Auftreten unterschiedlicher Materialstärken die Teile mit größerer Stärke mehr kontrahieren als die mit geringerer Stärke. Dies führte dazu, daß ein rundes Lumen elliptisch verformt wurde.

EFFINGER, A. (6) beschrieb die chemischen Grundlagen der Silikone und untersuchte deren Abbindezeit, Elastizitätsverhalten und Volumen- und Gewichtsverhalten. Er kam dabei zu folgenden Ergebnissen:

1. Die Abbindezeit ist stark abhängig von der zugesetzten Härtermenge.

2. Die Volumenabnahme beträgt nach zwölf Stunden etwa 0,5 - 1 %.

AHRENS, G. und NAUJOKS, R. (1) untersuchten die Materialien Lastic-55, Impressional und Permlastic (Polysulfid) unter anderem auf Gewichts- und Volumenänderungen in Abhängigkeit von der Zeit. Die Materialien zeigten zunächst eine Volumenzunahme und mit zunehmenden Alter eine Volumenabnahme.

GERATS, R. (11) stellte von einem konischen Testkörper, in dem im unteren Drittel eine 0,5 mm starke Rille cirkulär eingefräst worden war, Abdrücke nach der Doppelmischtechnik und Doppelabdrucktechnik her. Die Abdrücke wurden ausgegossen und der Durchmesser der eingefrästen Rille gemessen. Die nach dem Doppelmischverfahren gewonnenen Modelle waren etwa 0,9 % zu groß, während die nach dem Doppelabdruckverfahren gewonnenen Modell zwischen 0,22 % und 0,31 % zu klein waren.

STÜBEN, J. (30) beschrieb das Verhalten von Alginaten und Silikonen auf Druck- und Zugbelastung. Bei der Überprüfung von Volumenänderungen bestätigten sich die Ergebnisse von ILG, AHRENS und NAUJOKS.

BERGMANN, H. und KÖRBER, E. (3)prüften 1966 das Polyäthermaterial Impregum, die Polysulfide Permlastic und Rubberjel sowie die Silikone Silaplast, Lastic W, Cardex-Super, Permaflexil, Stasil und Tresident in drei Versuchsreihen. Mit jedem Abdruckmaterial wurden von einem Stahlquader drei Abdrücke genommen, die nach 24 Stunden ausgegossen wurden. Die Modelle wurden nach 4 - 5 Tagen an fünf bestimmten Punkten vermessen. Sowohl bei den Abdrücken nach dem Korrektur- und Doppelabdruckverfahren als auch bei Einkomponentenabdrücken wurde die Form des Quaders verzerrt wiedergegeben. Die gemessenen Abweichungen des Gipskörpers vom Originalkörper lagen zwischen 3 µm und 244 µm.

Beim Einkomponentenabdruck waren die Modelle mit Ausnahme bei Impregum vergrößert. Bei der Doppel- und Korrekturabformung wurden sowohl Vergrößerungen als auch Verkleinerungen gefunden. Dies führten die Autoren auf die unterschiedliche Materialstärke des Abformmaterials zurück. Ein wesentlich besseres Ergebnis konnte beim Korrekturabdruck durch ausreichende Abflußmöglichkeit für das Zweitmaterial erzielt werden.

FUCHS, P. und KOBES, L. (10) benutzten zum Untersuchen des Dimensionsverhaltens von Silikonabdruckmassen zum ersten Mal ein Modell mit drei nebeneinanderstehenden, stilisierten Kronenstümpfen. Sie führten sowohl einzeitige als auch zweizeitige Abformungen durch. Das Ausmessen der Modelle zeigte, daß der sagittale Durchmesser um durchschnittlich 35 µm größer war als der transversale Durchmesser; d.h. die Modelle waren längsoval verformt.

HOFMANN, M. und LUDWIG, P. (12) nahmen Abdrücke über zwei Stahlkegel, die die Pfeiler einer stilisierten dreigliedrigen Brücke wiedergeben sollten, auf folgende Methoden:

1. Erstabdruck ohne Korrektur

2. Korrekturabdruck ohne gesonderte Abflußmöglichkeit für das Zweitmaterial

3. Korrekturabdruck mit gesonderter Abflußmöglichkeit für das Zweitmaterial

4. Gleichzeitige Applikation von Erst- und Korrekturmaterial.

Nach 6, 48 und 144 Stunden wurden die Abdrücke ausgegossen und die Modelle anschließend mit dem Meßmikroskop ausgemessen und dem Original verglichen.
Bei jeder der vier angewandten Abformmethoden wurden

Änderungen der Kegelabstände, der Achsenparallelität und der Einzelkegelgröße gefunden. Die Verminderung der Kegelabstände war beim Erstabdruck ohne Korrektur am geringsten. Ein fast gleich gutes Ergebnis lieferte der Doppelmischabdruck, während der Korrekturabdruck mit und ohne Abflußrillen deutlich schlechter abschnitt. Der Korrekturabdruck ohne Abflußmöglichkeit für das Zweitmaterial zeigte bei den kleinen Kegeldurchmessern die größten Differenzen (bis 1,04 % nach 144 Stunden). Außerdem wurden hier Eindellungen der Kegelmantelflächen beobachtet.
Ausbuchtungen der Stumpfoberfläche zeigten sich beim Korrekturabdruck mit Abflußrillen entsprechend dem Verlauf der Abflußrillen. Zusätzlich wurden die Kegel noch stärker längsoval verformt.
Die gleichzeitige Applikation von Erst- und Zweitmaterial ergab bei den großen Kegeldurchmessern die höchsten Abweichungen.
Die Autoren empfehlen, aufgrund der Untersuchungen, bei Korrekturabdrücken für Abflußmöglichkeiten zu sorgen und das Zweitmaterial nur sparsam zu verwenden. Bei supragingivaler Präparation ziehen sie das Doppelmischverfahren vor.

LENZ, E. und WELKER, D. (17) weisen bei ihren Untersuchungen nach, daß Silikonmassen einer Schrumpfung unterliegen, die sich in einer bestimmten Zeit asymptotisch einem Grenzwert nähert. Die Dimensionsabweichungen nahmen zu, je größer die Schichtdicke des Materials im Löffel war und je ungleichmäßiger es verteilt war. Die Abweichungen lagen bei Gipsmodellen, die 48 Stunden nach Abdrucknahme bei einer Schichtdicke des Materials von 4 mm hergestellt worden waren, bei 2,16 % lin.

KÖRBER, E. und LEHMANN, K. (14) beschrieben die Abdruckgenauigkeit von Kupferring-, Korrektur- und Doppelmischabformungen eines leicht konischen Metallstumpfes. Die Abdrücke wurden sowohl direkt nach Abformung, als auch

nach 48 stündiger Lagerung mit Modellgips ausgegossen. Die geringsten Abweichungen vom Modellstumpf erbrachte der Kupferringabdruck mit Cardex-Super und der Doppelmischabdruck mit Silaplast-Silasoft.
Beim Korrekturabdruck waren die Stümpfe deutlich kleiner als das Original (durchschnittlich 90 µm).

SCHWINDLING, R. (27) untersuchte die linearen Dimensionsänderungen von 14 Silikon-Abformwerkstoffen verschiedener Viskosität während eines Zeitraumes von 48 Stunden mit einem Spiegelkathetometer. Die Abbindung der Silikone erfolgte bei 36° C, die Lagerung bei 21° C - 23° C. Die Werte der errechneten Gesamtkontraktion für eine Schichtdicke von 5 mm für das Erstabdruckmaterial und 1 mm für das Korrekturmaterial lagen zwischen 0,29 % und 0,67 %.

SCHWICKERATH, H. (24,25,26) beschrieb in mehreren Arbeiten eine Prüfanordnung zur Feststellung der Konsistenz, der Formgenauigkeit, der Formhaltigkeit und der Wiedergabegenauigkeit von Abformmaterialien. Er wies darauf hin, daß der Wert der Formgenauigkeit eines Abdruckmaterials nur für einen bestimmten Zeitpunkt und nur unter bestimmten Bedingungen gelten kann. Bestimmt wird das Formverhalten vom plasto-elastischen Verhalten, von der Abbindekontraktion, der thermischen Kontraktion und der Schrumpfung oder Quellung. Er stellte dabei unter anderem fest, daß ein Material, welches bei 36° C abbindet und nach 10 Minuten bei 23° C vermessen wird, eine Kontraktion von 0,44 % zeigt.

FINGER, W. (7) beschäftigte sich mit dem Wärmeausdehnungskoeffizient der in der Bundesrepublik verwendeten Elastomeren . Es fand dabei bei einer Temperaturdifferenz von Mundhöhlen-zu Raumtemperatur von 15° C eine Kontraktion der Silikonmassen von 0,25 %. Dies entspricht bei einer Abdruckschichtdicke von 5 mm etwa 13 µm.

BERGER, H.J., MARXKORS, R. und MEINERS, M. (2) zeigten, daß neben Verdrängungs- und Schrumpfungseffekten auch endogene Spannungen die Genauigkeit von Silikonabformungen beeinflussen. Die von Korrekturabdrücken hergestellten Modelle waren bei Verwendung des normalen Härters um etwa 0,2 % zu klein. Bei Verwendung eines Langzeithärters waren die Modelle nur noch 0,04 % zu klein. Dies bedeutet, daß sofort nach Mischbeginn die Vernetzungsreaktion anläuft und damit schon plastische Teile vorhanden sind, die deformiert werden und nach Entfernen des Abdruckes das Lumen verkleinern. Die Autoren fanden diese Erscheinung auch bei Doppelmischabdrücken und schlossen deshalb Verdrängungseffekte aus.

LENZ, E. (18) beschrieb neben den Grundlagen und Problemen der Verarbeitung von Silikonen das Werkstoffverhalten beim Abformen. Bei den elastischen Eigenschaften prüfte er den Formänderungsrest in Abhängigkeit vom Alter der Proben. Dieser betrug nach 10 Minuten bis zu 1,6 %, nimmt aber mit zunehmender Zeit deutlich ab. Die Abkühlungsschrumpfung gibt er für einen Temperaturbereich von 36° C - 21° C mit etwa 0,3 % - 0,4 % linear an, die Abbindekontraktion mit etwa 0,5 % - 2 % Vol .

SAPELLI, P.L., BRUSSOTTI, C. und FUMAGALLI, G. (22) verglichen das Längendimensionsverhalten von herkömmlichen Silikonen und additionsvernetzten Polysiloxanen. Sie fanden dabei eine Abweichung von + 0,15 % nach 24 Stunden, welche deutlich unter den Werten der kondensationsvernetzten Silikone liegt.

STACHNISS, V. und KOLBOW, G. (28) weisen auf den Einfluß der Lagerungstemperatur bei der Verarbeitung von Silikonabdruckmassen hin. Die geringsten Abweichungen bei der Korrekturabformung fanden sie, wenn das Abformmaterial bei 10° C gelagert und der Erstabdruck vor Einbringen in den Mund für eine Minute in Eiswasser gekühlt wurde.

MEINERS, H. (19,20) beschrieb die Chemie der Abbindereaktion der Polysulfide, Polyäther und Silikone.
Er zeigte die Abhängigkeit der Verarbeitungs- und Abbindezeit von der zugesetzten Härtermenge und der Temperatur.
Weiterhin legte er die Ursachen für die Volumenänderungen aller elastomeren Abformmassen während des Abbindens und der Lagerung dar. Die nicht maßstäbliche Vergrößerung eines Abdrucklumens führt er auf die Haftung am Abdrucklöffel und die unterschiedliche Schichtdicke des Abformmaterials zurück.

LEHMANN, K.M. und BURGDORF, H.O. (15,16) untersuchten die Abformgenauigkeit einzeitiger und zweizeitiger Abformverfahren. Die ausgemessenen Modellstümpfe waren bei den einzeitigen Abdrücken im Durchschnitt etwa 20 µm zu breit. Das zweizeitige Abformverfahren führte beim Korrekturabdruck ohne Abflußrillen zu Modellen, die etwa 0,1 mm zu schmal waren. Nach dem Anbringen von Abflußrillen waren die Modellstümpfe an der Basis um 20 µm zu breit und im oberen Drittel um 10 µm zu schmal.

EAMES, W.B.,WALLACE, S.W., SUWAY, N.B. und ROGERS, L.B. (5) untersuchten die Genauigkeit und Dimensionsstabilität von Polysulfiden, Polyäther sowie kondensationsvernetzten und additionsvernetzten Silikonen. In Ergänzung zu einer Prüfung nach ADA Spezifikation Nr. 19 führten sie einen dem klinischen Vorgehen ähnlichen Test durch.
Sie kamen zu dem Ergebnis, daß die Polyäther und Polysulfide dimensionsstabiler als die kondensationsvernetzten Silikone sind. Die additionsvernetzten Silikone erreichen die Dimensionsstabilität der Polyäthermassen.

YEH, C.L., POWERS, G.M. and CRAIG, R.G. (33) untersuchten die physikalischen und mechanischen Eigenschaften von drei additionsvernetzten Silikonabformmaterialien. Beim Vergleich mit kondensationsvernetzten Polyäther- und Polysulfidmaterialien kamen sie zu folgendem Schluß:

Die Verarbeitungszeit der Polysiloxane ist kürzer als die der Polysulfide, aber länger als die der Polyäther und konventioneller Silikone. Die Polysiloxane haben die geringste bleibende Deformation und die höchste Dimensionsstabilität. Sie sind schwerer verformbar und haben eine höhere Zerreißfestigkeit als herkömmliche Silikone und Polyäther.

WIRZ, J. (32) beschrieb einige grundsätzliche Eigenschaften von Abformmaterialien. Die thermischen Kontraktionswerte bewegen sich bei einer Temperaturdifferenz von 15° Celsius bei den Siloxanen in der linearen Größenordnung bis -0,25 %, bei den Polyvinylsiloxanen bis -0,18 %. Die Abbindekontraktion stellte er nach 24 Stunden mit -0,45 % bei den Siloxanen und mit -0,04 % bei den Polyvinylsiloxanen fest. Aufgrund dieser Ergebnisse gab der Autor bestimmte Zeiten für die Modellherstellung an.

VIOHL, J. (31) gibt für die Abbindeschrumpfung der kondensationsvernetzten Silikone 0,2 - 0,4 % an. Die Schrumpfung nach Lagerung von 24 Stunden gibt er mit 0,2 - 1,2 % für die Siloxane und bis zu 0,1 % für die Polyvinylsiloxane an.

Aus der Literaturübersicht ist zu entnehmen, daß die verwendete Abformmethode und das verwendete Abformmaterial die Genauigkeit des Modellstumpfes wesentlich beeinflussen. Dabei zeigt sich, daß die Doppelmischtechnik als einzeitige Abformmethode und die Verwendung von Polyvinylsiloxanen als additionsvernetzende gummielastische Abformmaterialien die günstigsten Ergebnisse erzielen.

3. MATERIAL UND METHODE

3.1. Die Stümpfe

Um verschiedene Abformmaterialien möglichst praxisbezogen auf ihre Wiedergabetreue untersuchen zu können, wurden als Prüfkörper natürliche Zähne verwendet.
Für die Versuche kamen sechs Prämolaren zur Anwendung, bei denen die Krone vollständig erhalten war. Diese Zähne wurden auf verschiedene Art präpariert:

- Tangentialpräparation
- Schulterpräparation
- Hohlkehlpräparation
- Hohlkehlpräparation mit Abschrägung
- Stufenpräparation
- Stufenpräparation mit Abschrägung

Als Anhalt dienten die von SHILLINGBURG, HOBO und FISCHER (23) dargestellten Präparationsformen. Die Präparationen erfolgten mit der Turbine unter Wasserkühlung. Benutzt wurden folgende Diamanten:

- Spitze für Tangentialpräparation
- Flamme für Schulterpräparation
- Torpedo für Hohlkehlpräparation
- Walze für Stufenpräparation

Die Gestaltung der Abschrägung wurde mit einem flammenförmigen Durawhite-Stein* ausgeführt. Ein Glätten der präparierten Stümpfe geschah nicht, weil es in der Praxis nicht üblich ist und die Rauhigkeit der Stumpfoberfläche mit in die Wiedergabegenauigkeit der Abformung einbezogen werden sollte. Die Stümpfe waren in vestibulo-oraler Richtung im zervikalen Drittel 6,4 mm breit im Durchschnitt, im okklusalen Drittel 5,5 mm. Die mesio-distale Ausdehnung betrug im Mittel im zervikalen Drittel 4,3 mm und im okklusalen Drittel 3,7 mm. Zur Durchführung der Abformung wurden

---

* Shofu-Dental, Steinhauserstr. 1, 4030 Ratingen - 8

die Stümpfe in eine quadratische Hohlform mit einer Kantenlänge von 20 x 20 mm eingebracht und mit Kaltpolymerisat darin befestigt. Diese Hohlform besaß am Boden einen viereckigen Zapfen zur Fixation auf dem Abdruckgerät.

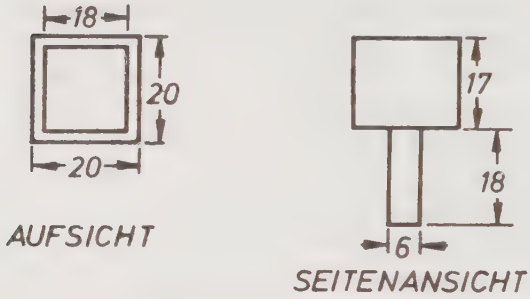


Abb. 1: Hohlform zur Aufnahme der Stümpfe (Angaben in mm).

Das Kaltpolymerisat reichte bis etwa 1 mm unter die Präparationsgrenze. Dabei wurde darauf geachtet, daß die Stümpfe parallel zur Richtung der Kanten der Hohlform fixiert wurden.

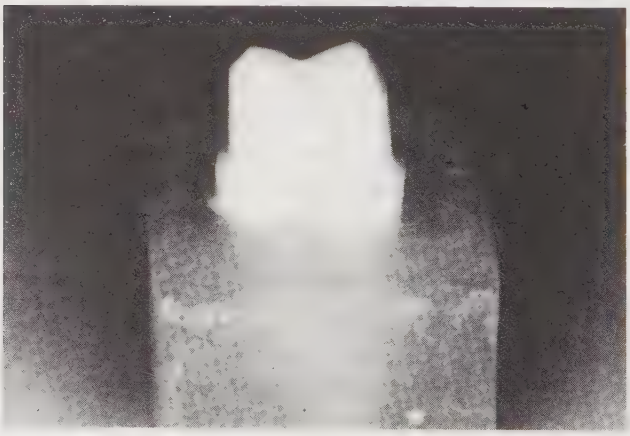


Abb. 2: Gesockelter Stumpf

3.2. Die Abformung

3.2.1. Die Abformlöffel

Die Abformung der natürlichen Zähne geschah mit Hilfe von stilisierten Abformlöffeln, die größer gewählt wurden als handelsübliche Konfektionsabformlöffel, da ein Mitabformen der beschriebenen Hohlform (Abb. 1) für die Untersuchung notwendig war. Dies deshalb, um in der später durchzuführenden Vergleichsmakroskopie parallele Flächen zu haben, mit denen die Stümpfe räumlich zueinander ausgerichtet werden konnten.
Es wurden zehn stilisierte Abformlöffel mit einer Wandstärke von 2 mm hergestellt und verwendet. Der Abstand zwischen den Prüfkörpern und den Innenwänden des Abformlöffel betrug an der Schmalseite durchschnittlich 11 mm, an der Längsseite 10 mm und in der Höhe 7 mm. Am Boden des Abformlöffels wurde zentrisch ein Stift zur Fixation im Abdruckgerät (Parallelometer) angebracht.

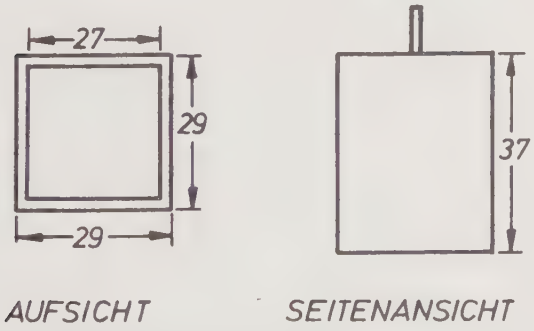
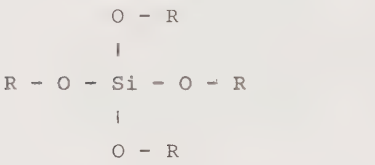


Abb. 3: Abformlöffel (Angaben in mm)

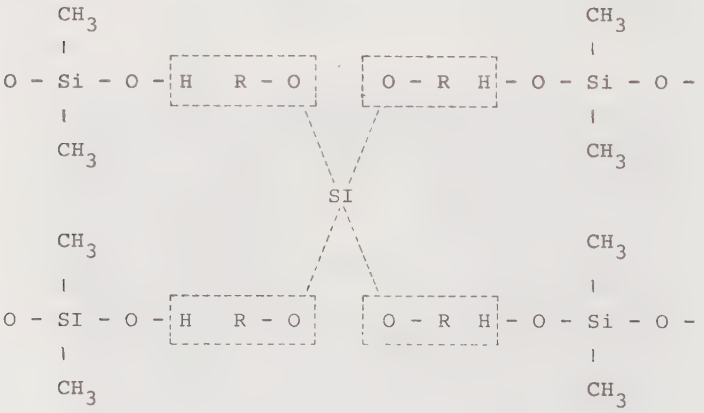
3.2.2. Chemische Grundlagen der Abformstoffe

1.) Kondensationsvernetzende Silikone (Siloxane)

Nach BRADEN, M. und ELLIOT, J.C. (4) ist das Polymere der Siloxane ein lineares Polydimethylsiloxan mit endständigen Hydroxylgruppen. Diese Substanz ist bis zu einem Molekulargewicht von 10^5 flüssig. Die Härtersubstanz enthält eine organische Zinn-Verbindung als Katalysator und ein Alkoxysilan folgenden Typs:



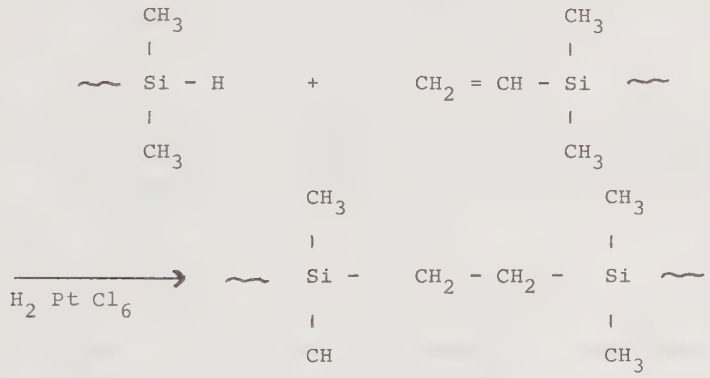
Nach dem Anmischen reagieren die vier funktionellen Reste des Alkoxysilans mit vier Polydimenthylsiloxanmolekülen unter Abspaltung von Alkohol.



Diese Reaktion bedeutet sowohl eine Kettenverlängerung als auch eine Vernetzung, und zwar im Verhältnis 1 : 1.

2.) Additionsvernetzende Silikone (Polyvinylsiloxane)

Nach WIRZ, J. (32) unterscheiden sich die additionsvernetzenden Silikone von den kondensationsvernetzenden durch den Reaktionsmechanismus der Vernetzung. Platinkatalysatoren führen zur Verknüpfung von Silikon-Fadenmolekülen mit Silanwasserstoff und Silikon-Fadenmolekülen mit Vinylsilangruppen. Dabei entsteht kein Spaltprodukt.



3.2.3. Verwendete Abformwerkstoffe und ihre Verarbeitung

Für unsere Versuche benutzten wir folgende Abformmaterialien und Werkstoffe

1.) Übersicht

PRESIDENT PUTTY PRESIDENT LIGHT BODY	additionsvernetzendes Silikon	Coltene AG Altstätten/Schweiz
REFLECT	additionsvernetzendes Silikon	Sybron/Kerr Karlsruhe
SILAPLAST SILASOFT	kondensationsvernetzendes Silikon	Detax-Denta Karlsruhe
ADHESIVE	Adhäsionsmaterial für den Abformlöffel	Coltene AG Altstätten/Schweiz
REFLECT-ADHÄSIV		Sybron/Kerr Karlsruhe
SILI-SPRAY		Detax-Dental Karlsruhe
SUPER-DIE	Modellmaterial	Frankonia-Dental

2.) Verarbeitung

PRESIDENT PUTTY ist eine additionsvernetzende zähplastische Knetmasse. Sie dient als Erstmaterial für Korrekturabdrücke. Basis und Katalysator werden im Verhältnis 1 : 1 angemischt. Die Verarbeitungszeit bei 23° C beträgt 2 Min. 30 Sek. (inkl.Mischzeit). Die Aushärtungszeit beträgt bei 37° C 4 Min. (inkl. Misch- u. Verarbeitungszeit).

PRESIDENT LIGHT BODY ist ein niedervisköses additionsvernetzendes Material Typ II,Klasse 3 und dient als Korrekturmaterial oder Zweitmaterial für den Doppelmischabdruck. Von dem Material, das in Tuben geliefert wird, werden gleiche Stranglängen Grundmasse und Katalysator auf einen Mischblock gegeben und gemischt, bis ein einheitlicher Farbton erreicht ist. Die Mischzeit beträgt bei 23° C und 50 % relative Luftfeuchtigkeit eine Minute. Die Verarbeitungszeit ist bei 23° C 3 Min. 50 Sekunden. Bei 27° C 2 Min. 50 Sekunden (ohne Mischzeit). Die Aushärtungszeit im Mund beträgt 3 Minuten nach Misch- und Verarbeitungszeit.

SILAPLAST N ist ein kondensationsvernetzendes Silikonmaterial, das als Erstmaterial für den Korrekturabdruck und Grundmasse für die Doppelmischtechnik verwendet wird. Zum Anmischen wird die erforderliche Menge SILAPLAST auf einen Mischblock gegeben, flach verteilt und zur Oberflächenvergrößerung Rillen eingedrückt. Auf einen Meßlöffel SILAPLAST wird ein Meßlöffel Härter gegeben. Der Härter wird mit einem Spatel eingemischt und die gesamte Masse in den Händen homogen durchgeknetet. Anmischzeit 40 Sekunden - Verarbeitungszeit 1 Minute - Abbindezeit 3 Minuten.

SILASOFT N: zum Anmischen wird auf einem Anrührblock ein Strang aufgetragen; die Strangdicke sollte dabei gleichmäßig der Tubenöffnung entsprechen. Als Härter wird ein fester Härter aus der Tube oder ein flüssiger Härter verwendet. Der Tubenhärter wird in derselben Stranglänge wie die Grundmasse aufgebracht. Beim flüssigen Härter wird pro Zentimeter Stranglänge der Grundmasse 1 Tropfen zugefügt. Die Teile werden durchmischt bis eine gleichmäßige Färbung auftritt.

Anmischzeit 30 Sekunden - Verarbeitungszeit 1 Min. 15 Sekunden vom Beginn des Anmischens - Abbindezeit 3 Min. 45 Sekunden von Beginn des Anmischens.

REFLECT ist additionsvernetzendes Silikonmaterial für Einphasenabdrücke. Zum Anmischen werden gleiche Stranglängen Basismaterial und Katalysator auf den Mischblock gebracht und anschließend mit einem Spatel durchmischt bis eine gleichmäßige Färbung vorhanden ist. Gesamtverarbeitungszeit beträgt 2 Min. 30 Sekunden vom Mischbeginn an bei 24° C Raumtemperatur und 50 ± 10 % Luftfeuchtigkeit.

ADHESIVE wird in einer möglichst dünnen Schicht mit dem mitgelieferten Pinsel auf den Abdrucklöffel aufgestrichen und mindestens 10 Minuten trocknen gelassen.

SILI-SPRAY wird auf den Löffel aus etwa 15 cm Entfernung dünn aufgesprüht. Nach etwa 30 Sekunden Trocknungszeit kann der Löffel benutzt werden.

REFLECT-ADHÄSIV wird auf die Innenfläche und den Löffelrand aufgestrichen und mindestens 15 Minuten trocknen gelassen.

SUPER-DIE

Mischungsverhältnis:	20 - 22 ml Wasser auf 100 gr.
Anmischzeit:	10 - 15 Sekunden
Verarbeitungszeit:	2 Minuten
Abbindeexpansion:	0,05 %.

3.2.4. Die Abformmethode zur Herstellung der Modelle

Zur Herstellung der Abformungen wurde ein Parallelometer umgebaut. Auf die Grundplatte des Geräts wurde eine Einrichtung zur Fixation der gesockelten Stümpfe festgeschraubt. Die Einrichtung war unterhalb der Stumpfsockel mit einer viereckigen Erhebung versehen, die in ihren Abmessungen einen Millimeter kleiner war als das Innenmaß der Abformlöffel. Die Abformlöffel wurden am parallel zu verschiebenden Teil des Parallelometers befestigt.

Um eine Verdrehung zu vermeiden, wurde eine Nut eingefräst, die eine exakte Befestigung erlaubte. Ein Anschlag verhinderte ein zu tiefes Absenken des Abformlöffels.

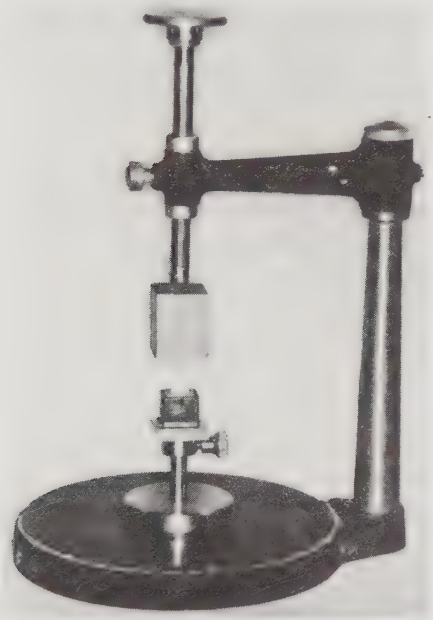


Abb. 4: Das Abformgerät

Für die Abformungen wurden zunächst die Löffel mit dem vom Hersteller mitgelieferten Adhäsiv eingestrichen bzw. eingesprüht. Nach der zur Trocknung vorgeschriebenen Zeit wurde das Erstmaterial in den Abformlöffel eingebracht, während der Stumpf mit dem Zweitmaterial umspritzt wurde. Der Abformlöffel wurde im Gerät befestigt und über die Stümpfe bis zum Anschlag geschoben. Dieses Verfahren wurde mit drei Abformmaterialien durchgeführt.

1. PRESIDENT PUTTY / PRESIDENT LIGHT BODY
2. SILAPLAST / SILASOFT
3. REFLECT (Einphasenmaterial)

Von jedem Stumpf wurden 5 Abdrücke genommen. Die Stümpfe waren dabei trocken. Da von den Herstellern die Abbindezeiten für die Abformmassen nur bei Mundtemperatur angegeben werden, wurden die Abdrücke die doppelte vom Hersteller angegebene Zeit auf dem Prüfkörper belassen. Damit sollten auch Schwankungen in der Dosierung, der Anmisch- und Verarbeitungszeit (LENZ, E. (18) 1976) ausgeglichen werden. Eine gesonderte Messung von Zimmertemperatur und Luftfeuchtigkeit erfolgte nicht. Die Materialien wurden bei Zimmertemperatur und normaler Luftfeuchtigkeit gelagert, angemischt und verarbeitet. Dadurch entfiel der Einfluß der thermischen Schrumpfung auf den Versuchsaufbau.
Die Abdrücke mit SILAPLAST/SILASOFT wurden nach einer Stunde (FINGER, LOCKOWANDT (8)), die Abdrücke mit PRESIDENT PUTTY/LIGHT BODY und die Abdrücke mit REFLECT nach drei Stunden ausgegossen (WIRZ (32)). Alle Abformungen wurden vor dem Ausgießen mit SUPER-DIE mit Trimmerwasser ausgepinselt. Der Superhartgips wurde entsprechend der Herstellerangaben mit 22 ml Aqua dest.gemischt und unter Vacuum 15 Sekunden lang angerührt. Die Abformungen wurden nach 45 Minuten vom Modell abgezogen.

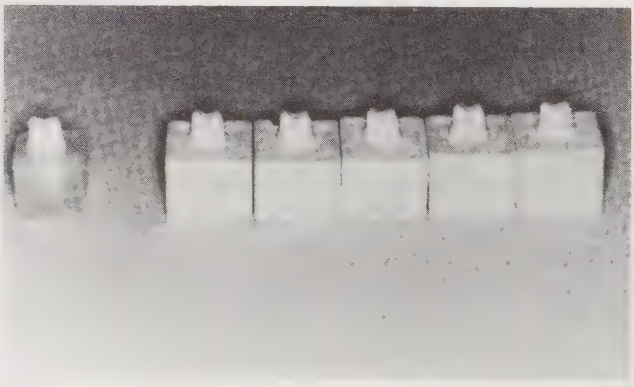


Abb. 5: Originalstumpf mit fünf Vergleichsmodellen

3.3. Die Vergleichsmakroskopie

Zum Vergleich der gewonnenen Modelle mit den Originalstümpfen wurden das Vergleichsmakroskop der Firma LEITZ benutzt.
Das Hauptanwendungsgebiet dieses Vergleichsmakroskopes ist die Kriminalistik.Es kann jedoch überall eingesetzt werden, wo Objekte im Auflicht verglichen und Abweichungen zwischen ihnen photographisch festgehalten werden sollen.

3.3.1. Technische Beschreibung des Vergleichsmakroskopes

Das Vergleichsmakroskop besteht aus dem Stativ, den beiden Objekttischen ,der Vergleichsbrücke, dem aufgesetzten FSA-Tubus, der Beleuchtungseinrichtung und einer Kamera. Kernstück des Vergleichsmakroskopes ist die Vergleichsbrücke.Sie vereinigt die von den beiden Objektiven entworfenen Bilder in einer Zwischenbildebene. In dieser Zwischenbildebene sitzen einklappbare Blenden. Mit Hilfe dieser Blenden und dem binokularen Phototubus ist es möglich, in der linken Bildhälfte das linke Objekt und in der rechten Bildhälfte das rechte Objekt zu betrachten. Bei ausgeschalteten Halbblenden überlagern sich die Bilder der beiden Objekte. Somit sind Unterschiede in Größe und Form erkennbar und auswertbar. Der binokulare Phototubus gestattet die Bildbetrachtung und die photographische Aufnahme. Die beiden Objekttische sind am Stativ angebracht, um 360^{o} schwenkbar und in allen drei Ebenen des Raumes verstellbar.

3.3.2. Durchführung des Vergleichsverfahrens

Um genaue Aussagen über bestehende Unterschiede zwischen dem natürlichen Zahnstumpf und den Modellstümpfen machen zu können, mußte gewährleistet sein, daß sie in den drei Raumebenen exakt zueinander ausgerichtet waren.

Daher war es nötig, die beiden Objekttische über das auf ihnen eingravierte Fadenkreuz in der x- und y-Ebene zu justieren. Danach wurden auf die Objekttische zwei u-förmige Metallplatten geschraubt. Diese beiden Platten hatten am oberen und linken inneren Rand zwei rechtwinkelige Anlagekanten für die gesockelten Originalstümpfe bzw. die gesockelten Modelle. Beim Verschieben der Objekttische war damit erreicht, daß die beiden Objekte nur parallel zueinander verschoben werden konnten.
Am Originalstumpf wurde, wenn möglich links unten, eine markante Stelle festgelegt und die gleiche Stelle am Modell mit dieser durch Verschieben des Objekttisches zur Deckung gebracht. Die Bereiche, in denen das Modell vom Original abwich, konnten durch Einschieben eines Rot- bzw. Grünfilters in den Strahlengang deutlich erfaßt werden.
An den Stellen, an denen Original und Modell übereinstimmten, war das Bild in der Komplementärfarbe eingefärbt. Eine Vergrößerung des Modelles ergab in den Bereichen der Abweichung einen Grünton, eine Verkleinerung einen Rotton. Die Abweichungen wurden schriftlich festgehalten und photographiert. Die Aufnahmen wurden mit einer LEICA und einem AGFAPAN 25-Film durchgeführt. Die Prüfkörper wurden sowohl in Buccal- als auch in Approximalansicht verglichen und photographisch dokumentiert. Um eine metrische Auswertung der Abweichungen durchführen zu können, wurde später im selben Abbildungsmaßstab ein Objektmikrometer photographisch festgehalten. Somit konnten Abweichungen des Modellstumpfes vom Originalstumpf im µm-Bereich in einem optischen Auswerteverfahren bestimmt werden (s.Abb. 6).

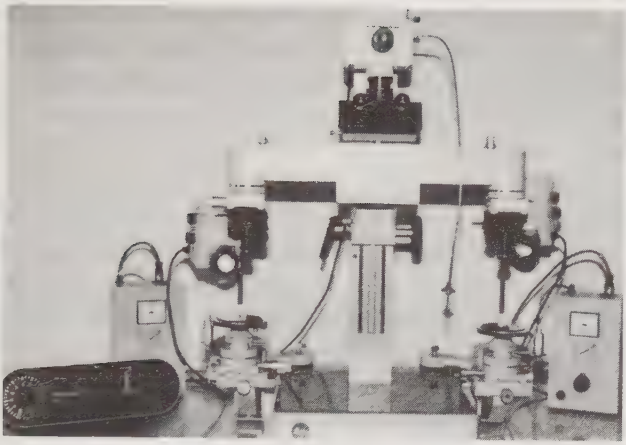


Abb. 6: Das Vergleichsmakroskop mit Originalstumpf und Modell auf den Objekttischen

3.4. Das Auswerteverfahren

Da das Vergleichsmakroskop eine optisch metrische Auswertung der Abweichungen des Modellstumpfes vom Zahnstumpf im Moment noch nicht gestattete, mußte eine Auswertung über photographische Positive vorgenommen werden. Hierzu wurden die belichteten Filme in Positive von der Abmessung 10,5 x 14 cm überführt.
Auf diesen Bildern wurden an den Stümpfen zwei Punkte festgelegt, die auf allen fünf Bildern einer Abdruckserie einwandfrei zu identifizieren waren. Diese beiden Punkte wurden auf einer auf dem Bild fixierten Klarsichtfolie mit einer Geraden verbunden. Zu dieser Geraden wurden im Abstand von 2 cm drei Parallelen gezogen und drei Senkrechten mit einem Abstand von 2 oder 2,5 cm errichtet (Vermessungsraster). Für jedes Bild ergaben sich somit acht Schnittpunkte vom Stumpf und den horizontalen Geraden,sowie sechs

Schnittpunkte mit den vertikalen Geraden. Mit diesem Koordinatensystem war gewährleistet, daß die Lage der Meßpunkte (= Schnittpunkte) an jedem Stumpf einer Abdruckserie identisch waren (siehe Abb. 7). Die Unterschiede zwischen Originalstumpf und Modell wurden an acht Meßpunkten in der Horizontalen und an drei Meßpunkten occlusal gemessen.
Da die farbliche Darstellung, ob größerer oder kleinerer Modellstumpf, in den Schwarz-Weiß-Positiven nicht mehr sichtbar war, mußten die Vorzeichen der Veränderungen aus den Versuchsaufzeichnungen entnommen werden. Die Größe der Veränderungen wurde in Millimeter gemessen und mit Hilfe des vorliegenden Objektmikrometers in Mikrometer (µm) umgerechnet. Ein Millimeter Abweichung auf den Positiven entsprach 66 µm Abweichung zwischen Modellstumpf und Zahnstumpf.

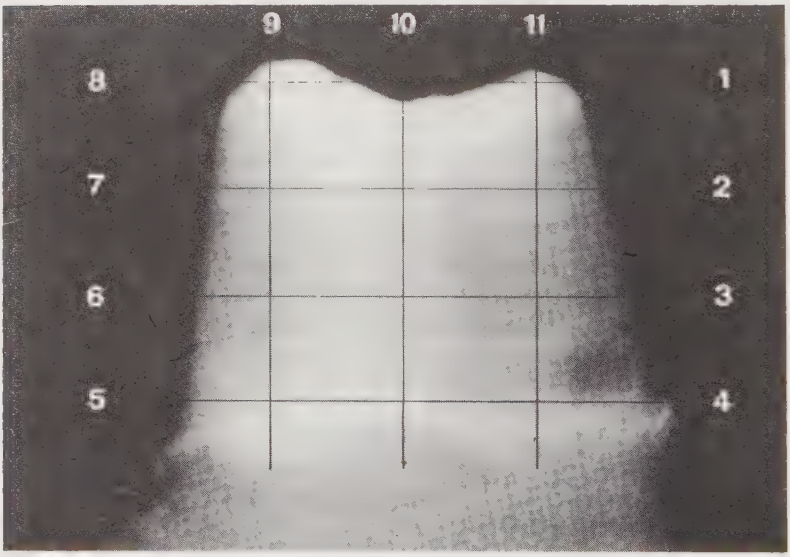


Abb. 7: Schwarz-Weiß-Positiv mit aufgelegtem Vermessungsraster. Hier Stufenpräparation abgeformt mit SILAPLAST/SILASOFT in Approximalansicht.

4. ERGEBNISSE

Die folgenden Ergebnisse zeigen die Abweichungen, die zwischen den Originalstümpfen und den nach Abformungen hergestellten Gipsmosellen gemessen wurden.
Von den 180 Schwarz-Weiß-Positiven, die angefertigt wurden, waren 125 auswertbar (69,4 %), worauf in der Diskussion eingegangen wird. Somit liegen nicht von jedem Originalstumpf Meßwerte für die Abweichungen des Modellstumpfes vor. Nur sehr wenige Werte wurden für die vertikalen (=okklusalen) Abweichungen des Modells vom Original erhalten, da es oft nicht zu erreichen war, das Bild im Makroskop im okklusalen Bereich der Stümpfe so scharf zu stellen, daß ein Ausmessen möglich war.
In den folgenden Abbildungen werden nur die Ergebnisse aufgeführt, die den Vergleich von mindestens zwei der verwendeten Abformmaterialien miteinander zulassen.

Aus den ermittelten Abweichungen der fünf Einzelstümpfen einer Serie wurden die Mittelwerte und die Standardabweichungen für die horizontalen und vertikalen Abweichungen berechnet und in den folgenden Abbildungen wiedergegeben (siehe auch Anhang).

Die erzielten Ergebnisse werden im Folgenden aus der Sicht der Präparationsarten dargestellt.

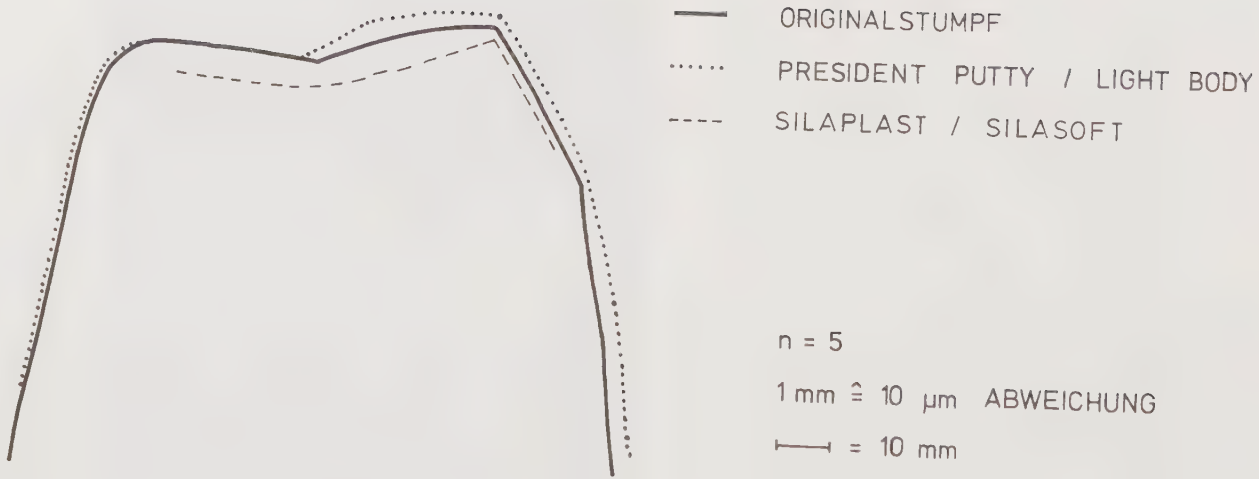


Abb. 8: Schematische Darstellung der horizontalen und vertikalen Abweichungen der Abformserien SILAPLAST/SILASOFT und PRESIDENT PUTTY/LIGHT BODY bei der Tangentialpräparation in Approximalansicht.

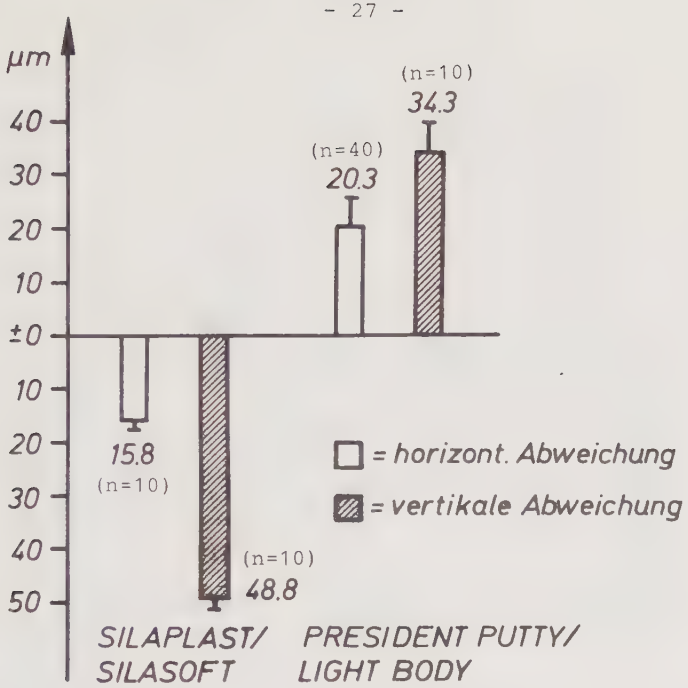


Abb. 8a: Abweichungen der Stümpfe mit Tangentialpräparation in Approximalansicht.
SILAPLAST/SILASOFT zeigte mit -48,8 µm die größte vertikale Abweichung.
PRESIDENT PUTTY/LIGHT BODY zeigte mit +20,3 µm die größte horizontale Abweichung.Dargestellt sind die Mittelwerte und die Standardabweichungen.

4.1. Tangentialpräparation

Die Modellstümpfe waren bei der Abformserie SILAPLAST/SILASOFT sowohl in der Breite als auch in der Höhe verkleinert. Die horizontale Abweichung betrug +15,8 µm, die vertikale Abweichung -48,8 µm. Bei der Abformserie PRESIDENT PUTTY/ LIGHT BODY waren die Stümpfe in der horizontalen Richtung um +20,3 µm vergrößert und in der vertikalen Richtung um +34,3 µm vergrößert. Die Abformserie REFLECT konnte bei dieser Präparationsart nicht ausgewertet werden.

ORIGINALSTUMPF

SILAPLAST / SILASOFT

KERR REFLECT

PRESIDENT PUTTY / LIGHT BODY

n = 5

1 mm ≙ 10 µm ABWEICHUNG

⟝⟞ = 10 mm

Abb. 9: Schematische Darstellung der horizontalen und vertikalen Abweichungen der Abformserie SILAPLAST/SILASOFT, PRESIDENT PUTTY/LIGHT BODY und REFLECT bei der Schulterpräparation in Approximalansicht.

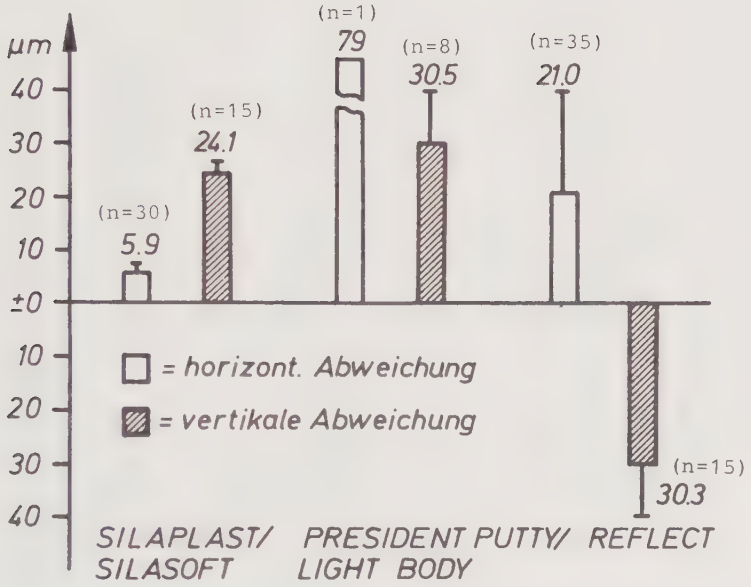


Abb. 9a: Abweichungen der Stümpfe mit Schulterpräparation in Approximalansicht. Außer den vertikalen Abweichungen bei REFLECT (-30,3 µm) liegen alle Abweichungen im positiven Bereich. Dargestellt sind die Mittelwerte und die Standardabweichungen.

4.2. Schulterpräparation

Mit Ausnahme der vertikalen Abweichungen bei REFLECT (-30,3 µm) liegen alle anderen Abweichungen im positiven Bereich. Die geringste Abweichung ergab die Abformserie SILAPLAST/SILASOFT in horizontaler Richtung mit +5,9 µm. Den größten Unterschied zwischen Modell und Original zeigte PRESIDENT PUTTY/ LIGHT BODY mit +79 µm. Hierzu muß jedoch gesagt werden, daß bei dieser Abformserie nur ein Meßpunkt auswertbar war.
Die geringsten vertikalen Abweichungen zeigte SILAPLAST/ SILASOFT mit +24,1 µm. PRESIDENT PUTTY/LIGHT BODY und REFLECT ergaben in dieser Richtung die gleichen Abweichungen, aber mit umgekehrtem Vorzeichen (PRESIDENT +30,5 µm, REFLECT -30,3 µm).

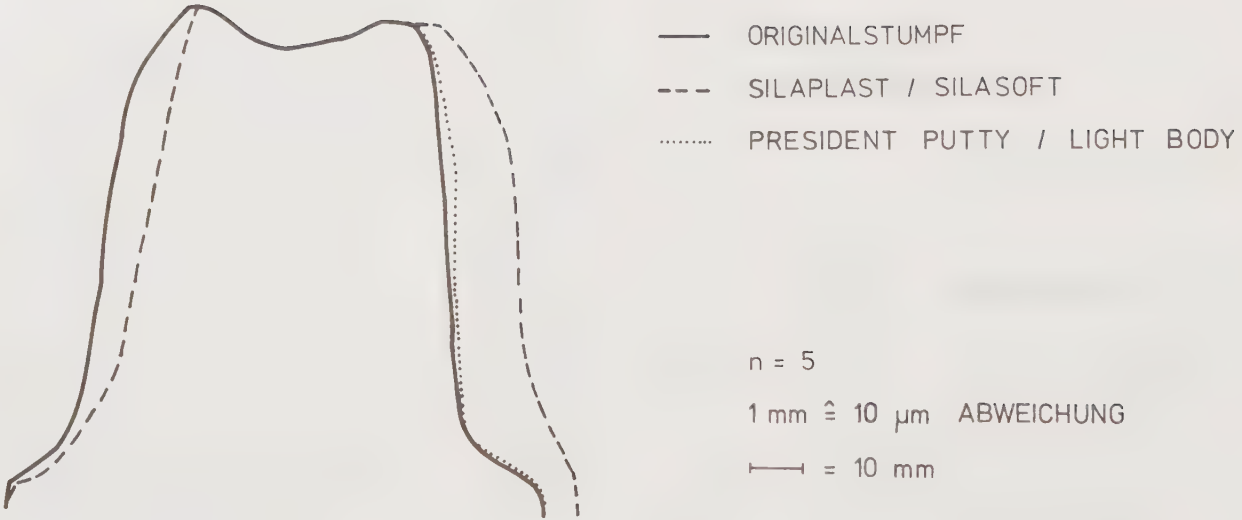


Abb. 10: Schematische Darstellung der horizontalen und vertikalen Abweichungen der Abformserien SILAPLAST/SILASOFT, PRESIDENT PUTTY/LIGHT BODY und REFLECT bei der Hohlkehlpräparation in Approximalansicht.

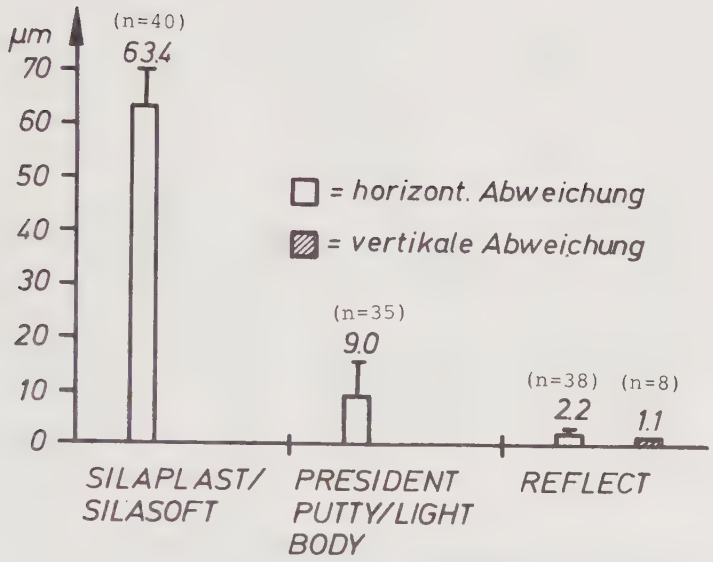


Abb. 10a: Abweichungen der Stümpfe mit Hohlkehlpräparation in Approximalansicht. REFLECT zeigte sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung die geringsten Abweichungen.
Dargestellt sind die Mittelwerte und die Standardabweichungen

4.3. Hohlkehlpräparation

Bei dieser Präparationsart zeigte die Abformserie SILAPLAST/SILASOFT mit +63,4 µm die größten Abweichungen in der Horizontalen.
REFLECT ergab sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung äußerst geringe Abweichungen (+2,3 µm bzw. +1,1 µm).
Die vertikalen Abweichungen für PRESIDENT PUTTY/LIGHT BODY und SILAPLAST/SILASOFT konnten nicht ausgewertet werden.

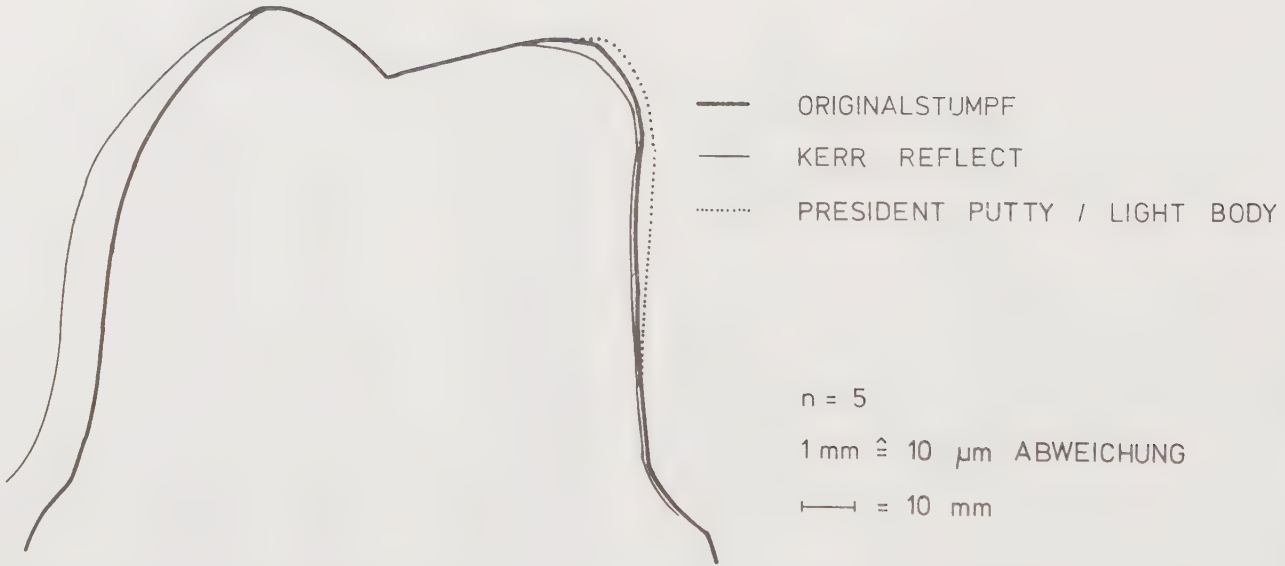


Abb. 11: Schematische Darstellung der horizontalen und vertikalen Abweichungen der Abformserien PRESIDENT PUTTY/LIGHT BODY und REFLECT in Approximalansicht bei der Hohlkehlpräparation mit Abschrägung.

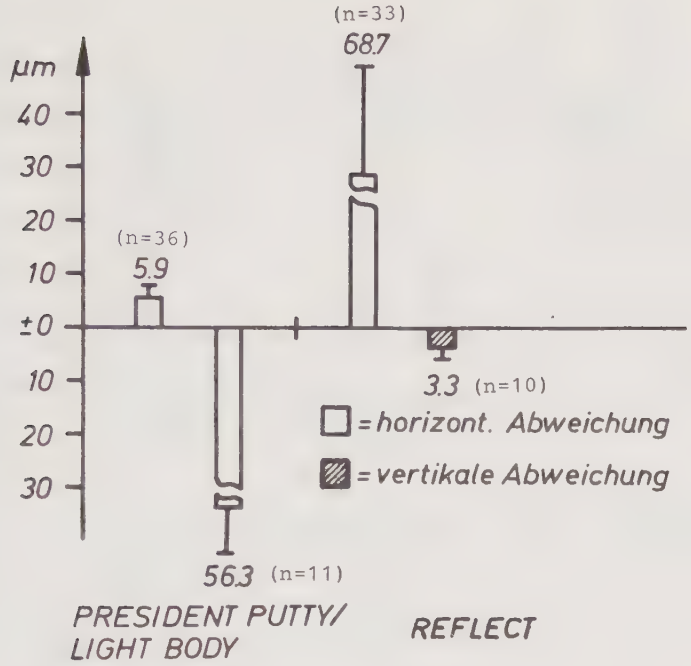


Abb. 11a: Abweichungen der Stümpfe mit Hohlkehlpräparation mit Abschrägung in Approximalansicht. REFLECT zeigte die größten horizontalen Abweichungen, während PRESIDENT PUTTY/LIGHT BODY die größten vertikalen Abweichungen ergab. Dargestellt sind die Mittelwerte und die Standardabweichungen.

4.4. Hohlkehlpräparation mit Abschrägung

Bei dieser Präparationsart ergaben sich für PRESIDENT PUTTY/ LIGHT BODY mit +5,9 µm die geringsten Abweichungen in der Horizontalen. REFLECT wich mit -3,3 µm nur sehr wenig in vertikaler Richtung ab, zeigte aber in horizontaler Richtung Abweichungen von +68,7 µm. Bei PRESIDENT PUTTY/ LIGHT BODY waren die Stümpfe um -56,3 µm zu kurz. SILAPLAST/SILASOFT konnte bei dieser Präparation nicht ausgewertet werden.

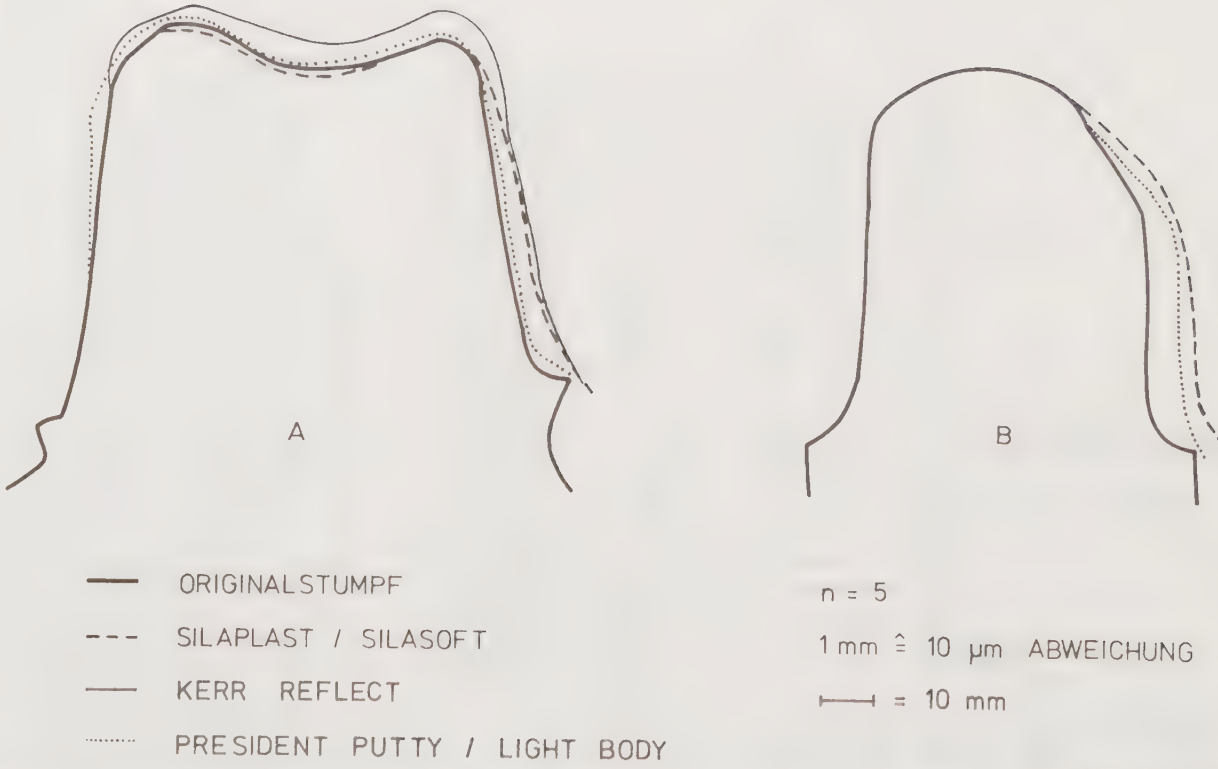


Abb. 12: Schematische Darstellung der horizontalen und vertikalen Abweichungen der Abformserien SILAPLAST/SILASOFT, PRESIDENT PUTTY/LIGHT BODY und REFLECT in Approximalansicht (A) und Buccalansicht (B) bei der Stufenpräparation. REFLECT in Buccalansicht nicht dargestellt.

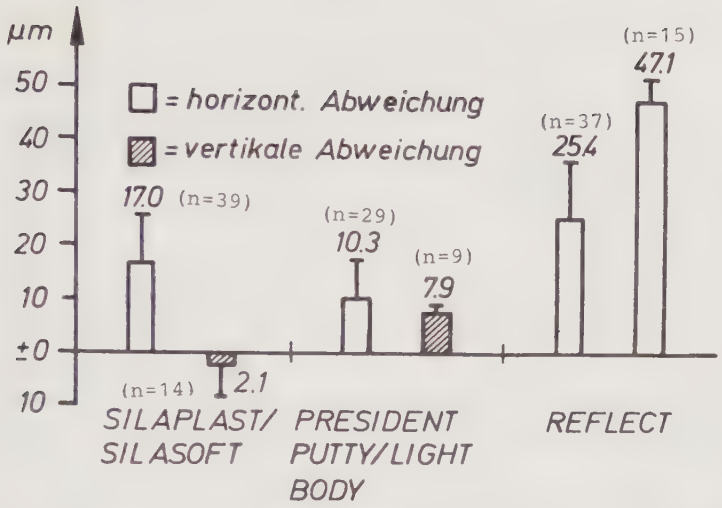


Abb. 12a: Abweichungen der Stümpfe mit Stufenpräparation in Approximalansicht. REFLECT ergab die größten vertikalen Abweichungen mit +47,1 µm. SILAPLAST/ SILASOFT ergab mit -2,1 µm die geringsten vertikalen Abweichungen.Dargestellt sind die Mittelwerte und die Standardabweichungen.

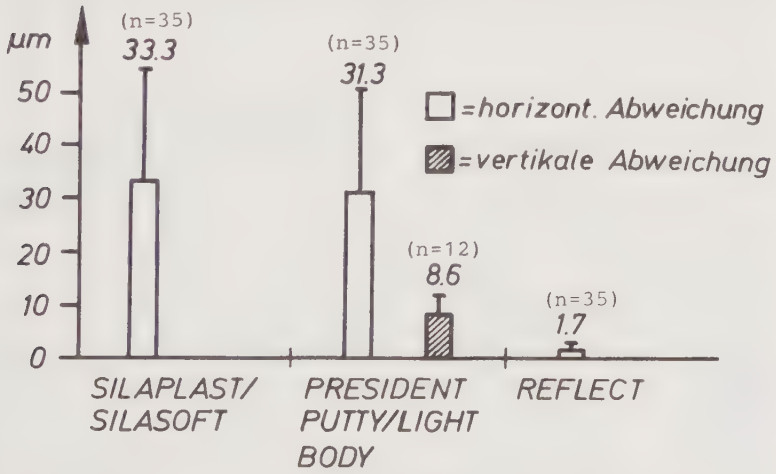


Abb. 12b: Abweichungen der Stümpfe mit Stufenpräparation in Buccalansicht. REFLECT ergab mit +1,7 µm die geringsten horizontalen Abweichungen. Dargestellt sind die Mittelwerte und die Standardabweichungen.

4.5. Stufenpräparation

Mit Ausnahme der vertikalen Abweichungen bei SILAPLAST/ SILASOFT zeigten alle Stümpfe positive Veränderungen. Bei SILAPLAST/SILASOFT waren die Stümpfe in Approximalansicht in der Vertikalen um 2,1 µm verkürzt.

REFLECT zeigte in horizontaler und vertikaler Richtung in Approximalansicht die größten, in Buccalansicht die geringsten Abweichungen (+25,4 µm und 47,1 µm bzw. +1,7 µm).

Die geringsten Veränderungen in Approximalansicht zeigte PRESIDENT PUTTY/LIGHT BODY mit +10,3 µm in der Horizontalen.

Die stärksten Abweichungen in der Horizontalen ergab die Abformserie SILAPLAST/SILASOFT mit +33,3 µm in Buccalansicht.

Bei SILAPLAST/SILASOFT und REFLECT konnten die vertikalen Abweichungen in Buccalansicht nicht ausgewertet werden (siehe Abbildungen 12 - 12b).

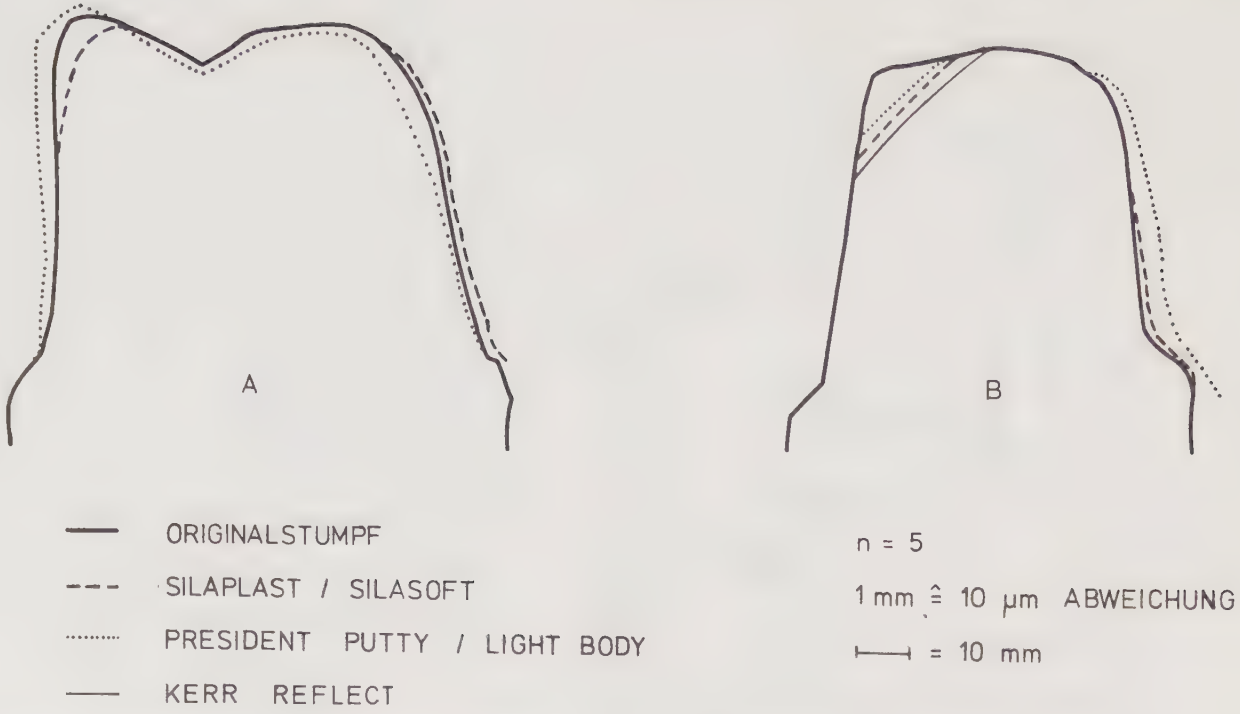


Abb. 13: Schematische Darstellung der horizontalen und vertikalen Abweichungen der Abformserien SILAPLAST/SILASOFT, PRESIDENT PUTTY/LIGHT BODY und REFLECT in Approximalansicht (A) und Buccalansicht (B) bei der Stufenpräparation mit Abschrägung.

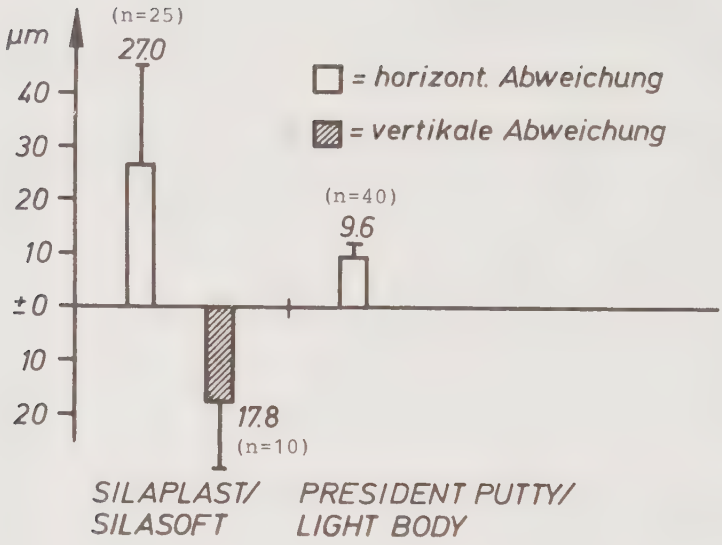


Abb. 13a: Abweichungen der Stümpfe mit Stufenpräparation mit Abschrägung in Approximalansicht. Die Abformserie PRESIDENT PUTTY/LIGHT BODY zeigte in vertikaler Richtung keine Abweichungen. Dargestellt sind die Mittelwerte und die Standardabweichungen.

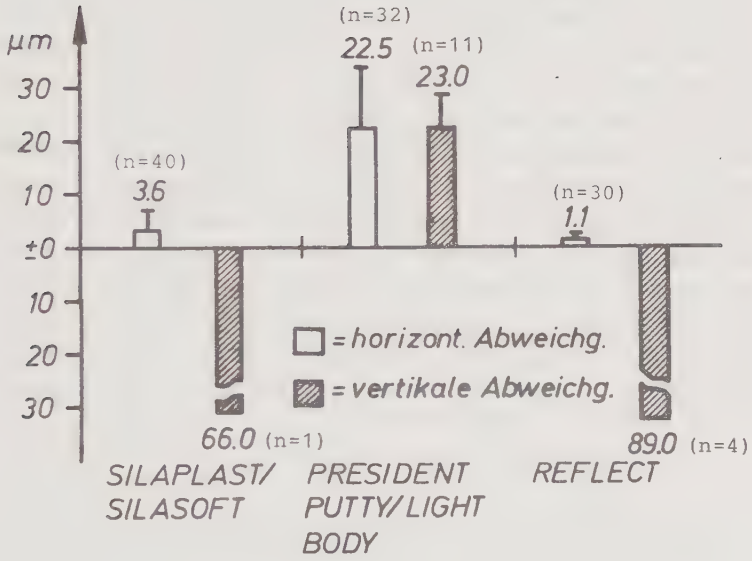


Abb. 13b: Abweichungen der Stümpfe mit Stufenpräparation mit Abschrägung in Buccalansicht.
Die Abformserien SILAPLAST/SILASOFT und REFLECT zeigten in horizontaler Richtung sehr geringe Abweichungen (+3,6 µm und +1,1 µm). Dargestellt sind die Mittelwerte und die Standardabweichungen.

4.6. Stufenpräparation mit Abschrägung

In horizontaler Richtung ergaben die Abformserien SILAPLAST/SILASOFT und PRESIDENT PUTTY/LIGHT BODY positive Abweichungen von +27 µm und +9,6 µm. Keine Abweichungen des Modellstumpfes vom Original ergaben sich bei PRESIDENT PUTTY/LIGHT BODY in der Vertikalen, während SILAPLAST/SILASOFT um -17,8 µm verkürzte Stümpft ergab (siehe Abbildung 13a). REFLECT konnte bei dieser Präparation in Approximalansicht nicht ausgewertet werden.
In Buccalansicht zeigten SILAPLAST/SILASOFT und REFLECT relativ große vertikale Abweichungen (-66 µm und -89 µm). Zu dem Wert bei REFLECT muß bemerkt werden, daß nur ein Meßpunkt ausgewertet werden konnte. In der Horizontalen ergaben sich für SILAPLAST/SILASOFT und REFLECT nur sehr geringe Veränderungen (+3,6 µm und +1,1 µm), während PRESIDENT PUTTY/LIGHT BODY hier Abweichungen von +22,6 µm ergab. Die geringsten Vertikalabweichungen ergab in Buccalansicht die Abformserie PRESIDENT PUTTY/LIGHT BODY (+23 µm).

4.7. Allgemeine Betrachtung der Ergebnisse

Die nach dem Doppelmischabformverfahren mit SILAPLAST/SILASOFT hergestellten Modelle waren in ihrer horizontalen Ausdehnung bis auf die Modelle der Tangentialpräparation gegenüber den Originalstümpfen alle vergrößert.
Dabei zeigten die Modellstümpfe in der Approximalansicht 3,7 µm größere Abweichungen als in Buccalansicht. Innerhalb dieser Abformserie zeigten in Buccalansicht die Modelle der Hohlkehlpräparation mit +63,4 µm die größten Abweichungen. Keine Abweichungen ergaben in Approximalansicht die Modelle der Hohlkehlpräparation mit Abschrägung.
Die Abweichungen der Modelle der anderen Präparationsarten lagen zwischen diesen beiden Werten.
In der vertikalen Richtung waren alle Modellstümpfe dieser Abformserie bis auf eine Ausnahme verkleinert. Während die

Modelle der Stufenpräparation in Approximalansicht mit -2,1 µm die geringsten Abweichungen zeigten, ergaben die Modelle der Stufenpräparation mit Abschrägung in Buccalansicht die größten Abweichungen (-66 µm).

Bei der Abformserie PRESIDENT PUTTY/LIGHT BODY waren in horizontaler Richtung alle Modellstümpfe gegenüber den Originalstümpfen vergrößert. Die Abweichungen waren hier im Gegensatz zu der Abformserie SILAPLAST/SILASOFT in Approximalansicht der Stümpfe geringer als in Buccalansicht. Die geringsten horizontalen Abweichungen zeigten die Modelle der Hohlkehlpräparation mit Abschrägung (+5,9 µm). Die größten horizontalen Abweichungen ergaben die Modelle der Schulterpräparation mit +79 µm.
In der Vertikalen zeigten fast alle Modelle dieser Abformserie eine Längenzunahme. Eine Ausnahme bildeten die Modelle der Hohlkehlpräparation mit Abschrägung. Die Modelle dieser Präparationsart waren um -56,3 µm verkürzt.
Die größte Übereinstimmung zwischen Modell und präpariertem Zahn ergab sich bei dieser Abformserie in vertikaler Richtung bei den Modellen der Stufenpräparation mit Abschrägung.
Ebenso wie bei PRESIDENT PUTTY/LIGHT BODY waren auch bei der Abformserie REFLECT die Modellstümpfe in horizontaler Richtung vergrößert.
Die größten Abweichungen vom Original zeigten die Modelle der Hohlkehlpräparation mit Abschrägung (+68,7 µm, Stümpfe von approximal betrachtet). Die geringsten Abweichungen zeigten die Modelle der Hohlkehlpräparation (+2,2 µm, Stümpfe von approximal betrachtet). In Buccalansicht zeigten die Stümpfe dieser Präparationsart keine Abweichungen. In vertikaler Richtung wurden bei dieser Abformserie sowohl Verlängerungen als auch Verkürzungen festgestellt. Die Abweichungen reichten hier von -89 µm bis +47,1 µm. Bei den Modellen der Hohlkehlpräparation ergab sich mit +1,1 µm eine sehr geringe Vertikalabweichung.

5. DISKUSSION

5.1. Material und Abformmethode

Die durchgeführten Messungen lassen erkennen, daß keines der hergestellten Modelle mit den präparierten Zähnen voll übereinstimmte. Jedoch waren die mit Hilfe der Vergleichsmakroskopie festgestellten Abweichungen nur sehr gering.
Bei der Durchsicht der Meßergebnisse der Doppelmischabformungen mit SILAPLAST/SILASOFT fiel bei den horizontalen Abweichungen auf, daß diese relativ stark streuten. Sie schwankten von -15,8 µm bei den Modellen der Tangentialpräparation bis +63,4 µm bei den Modellen der Hohlkehlpräparation. Da der sicherlich vorhandene Meßfehler immer gleich groß war, müssen dafür andere Gründe ausschlaggebend sein.
Auf jeden Fall müssen Fehler beim Dosieren des anzumischenden Materials berücksichtigt werden.
LENZ, E. (18) fand Unterschiede von -30 % bis +60 % bei der Härterdosierung. SCHWICKERATH, H. (24) beschrieb Unterschiede der zur Dosierung gefüllten Meßbecher und der bei Tubenmaterial ausgedrückten Stranglängen bis zu +22 %. Durch diese ungenaue Dosiermöglichkeit ändern sich die Verarbeitungszeit und die Viskosität der Silikonabformmaterialien. Dies könnte bei den Versuchen dazu geführt haben, daß bei den Abformungen das Material bereits elastische Anteile enthielt, die zu Verzerrungen der Abformungen führten.
Während REFLECT ähnlich große Unterschiede der Abweichungen in horizontaler Richtung zeigte, konnte das für PRESIDENT PUTTY/LIGHT BODY nicht festgestellt werden. Die horizontalen Abweichungen bewegten sich bei dieser Abformserie nur zwischen minimal +5,9 µm und maximal +31,3 µm. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Untersuchungen von STANNARD, J.G. und CRAIG, R.G. (29) die zeigten, daß Änderungen der Dosierung bei additionsvernetzenden Silikonen geringere Auswirkungen auf die Dimensionsstabilität haben als bei kondensationsvernetzenden Materialien.

Betrachtet man die horizontalen Abweichungen in unterschiedlicher Höhe der Stümpfe, ergibt sich folgendes Bild:

Bei der Abformserie SILAPLAST/SILASOFT ergaben sich Differenzen der horizontalen Abweichungen an einer Stumpfseite zwischen den Meßpunkten $x_1 - x_4$ bzw. $x_5 - x_8$ (Abb. 14) bis zu 70,9 µm. Die Abformserie PRESIDENT PUTTY/LIGHT BODY führte zu Differenzen bis zu 35,6 µm und REFLECT bis zu 72,8 µm. Diese Werte zeigen an, daß die Stumpfmodelle von der Präparationsgrenze bis zu Inzisalkante nicht gleichmäßig von den Originalstümpfen abweichen.

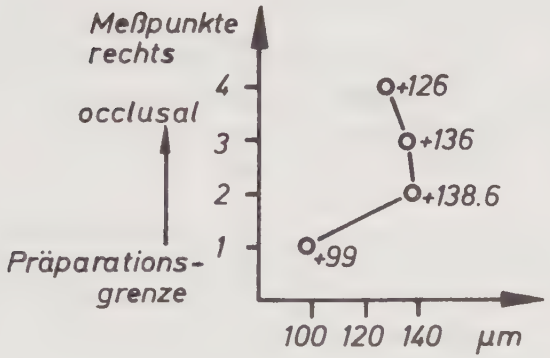


Abb. 14: Horizontale Abweichungen in verschiedenen Stumpfhöhen;hier dargestellt am Beispiel der Hohlkehlpräparation abgeformt mit SILAPLAST/SILASOFT. Die geringste Abweichung ergab sich kurz oberhalb der Präparationsgrenze (+99 µm). Die Abweichung nahm in occlusaler Richtung zur Stumpfmitte hin zu und danach wieder leicht ab.

Diese unterschiedlich starken Abweichungen müssen unter anderem darauf zurückgeführt werden, daß Erst- und Zweitmaterial sich beim Abbinden verschieden stark kontrahieren. Dieser Effekt wird dadurch verstärkt, daß die Schichtdicke der beiden Materialien bei der Doppelmischabformung nicht überall gleich groß ist (s. Abbildung 15). Somit entstehen innerhalb der Abformung Zonen, wo viel niedervisköses Material vorhanden ist, welches relativ stark kontrahiert, während an anderen Stellen viel hochvisköses Material vorhanden ist, das relativ wenig schrumpft.

Abb. 15: Verteilung von Erst- und Zweitmaterial bei der Doppelmischabformung. Auffallend ist die nicht gleichmäßige Verteilung der Materialien.

Werden die Differenzwerte der horizontalen Abweichungen in den verschiedenen Stumpfhöhen gemittelt, gelangt man zu folgendem Ergebnis:
Die durchschnittlichen Differenzen betrugen bei der Abformserie SILAPLAST/SILASOFT 22,3 µm, bei PRESIDENT PUTTY/LIGTH BODY 20,4 µm und bei REFLECT 17,4 µm.
Das günstigere Ergebnis von REFLECT ist unter anderem sicherlich darauf zurückzuführen, daß bei diesem Material als Einphasenmaterial das unterschiedliche Kontraktionsverhalten von Erst- und Zweitmaterial entfällt. Daß hier

dennoch unterschiedlich starke Abweichungen aufgetreten sind, kann auch mit Lufteinschlüssen während der Abformung zusammenhängen, die bei einem Einphasenmaterial nur schwer zu vermeiden sind.
Für die vertikalen Abweichungen der Modellstümpfe von den präparierten Zähnen ergab sich kein einheitliches Bild.
Bei der Abformserie SILAPLAST/SILASOFT streuten die vertikalen Abweichungen von -66 µm bis +24,1 µm.
Hierbei muß jedoch festgehalten werden, daß die meisten Modelle gegenüber den Originalstümpfen verkürzt waren.

Die Abformserie PRESIDENT PUTTY/LIGHT BODY zeigte in vertikaler Richtung Abweichungen von -56,3 µm bis +34,3 µm.
Insgesamt waren die Modelle bei diesem Material eher verlängert als verkürzt.
Bei REFLECT ergaben sich Abweichungen von -30,3 µm bis 47,1 µm. Hier waren Verkürzungen und Verlängerungen in gleichem Maße vorhanden.
Wenn davon ausgegangen wird, daß sich die Abformmaterialien durch Verwendung eines Adhäsivs nicht vom Abformlöffel lösen konnten, waren durch die Abbindekontraktion der Materialien eher Verlängerungen der Modellstümpfe zu erwarten.
Die von uns teilweise festgestellten okklusalen Verkürzungen könnten durch elastische Anteile, die in den Materialien bei der Abformung bereits vorhanden waren, zustande gekommen sein. Wurden diese elastischen Zonen durch die Abformung verformt, stellen sie sich nach Abnehmen der Abformung vom Stumpf wieder zurück und führen somit zu einer Verkürzung der vertikalen Dimension. Dieser Effekt der endogenen Spannung (MEINERS, 1977 (19)) wird um so größer, je ungünstiger die Abflußbedingungen für das verdrängte Abformmaterial sind.

Da bei unseren Versuchen die Abformung der Hohlform zur Aufnahme der Stümpfe aus meßtechnischen Gründen notwendig war, sind die Abflußbedingungen sicher etwas verschlechtert worden.

Zusätzlich wird jede Abformung beim Abziehen durch zahlreiche Faktoren verformt. Alle diese Faktoren wirken der Abzugskraft entgegen. An erster Stelle muß hier die Deformation genannt werden, die notwendig ist, um die Abformung aus untersichgehenden Bereichen zu entfernen. Das Material wird dabei nicht nur komprimiert, sondern auch auf Zug und Scherung beansprucht. Von dieser unumgänglichen Deformation bleibt immer ein Rest an Verformung bestehen, auch wenn dem Material ausreichend Zeit zur Rückstellung gegeben wurde (REHBERG, 1970 (21)). Diese bleibende Deformation wird bei großen Schichtdicken des Abformmaterials prozentual geringer sein als bei kleineren Schichtdicken. Die Größenordnung der bleibenden Deformation wird von FRANZ, G. (9) für Silikonmaterialien mit etwa 1 % - 3 % angegeben. Dies bedeutet aber, daß die bleibende Deformation bei großen untersichgehenden Stellen und geringer Schichtdicke des Abformmaterials einen bedeutenderen Einfluß auf die Abformgenauigkeit hat als die Abbindekontraktion. Nach diesen Überlegungen wäre bei den Versuchen die stärksten Abweichungen im Bereich der Präparationsgrenze zu erwarten gewesen, da hier die Abformungen beim Abziehen vom Modell am stärksten deformiert werden. Die gemessenen Werte konnten das jedoch nicht zeigen. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß die Materialschichtdicken ca. 11 mm betrugen und die bleibende Deformation somit keine entscheidende Rolle spielte.

Die Haft-und Gleitreibung in der Grenzfläche zwischen Abformmasse und Stumpf, die Oberflächenspannung sowie der Unterdruck, der beim Abziehen entsteht, sind weitere Gründe für die Deformation einer Abformung.

In der hier vorliegenden Untersuchung muß insbesondere die Haftreibung berücksichtigt werden, da die Stümpfe nur mit Diamantschleifer präpariert und nicht geglättet wurden.

Um die gefundenen Ergebnisse mit den in der Literatur angegebenen Werte vergleichen zu können, ist es notwendig, die gemessenen Abweichungen in Prozentwerte umzurechnen.

Somit ergaben sich für die Abdruckserie SILAPLAST/SILASOFT durchschnittlich horizontale Abweichungen von +0,1 % bis +1,07 % und von +0,0 % bis +1,24 %. Die Abformserie PRESIDENT PUTTY/LIGHT BODY zeigte durchschnittlich horizontale Abweichungen von +0,1 % bis +0,34 % und von +0,56 % bis +0,78 %. Die Abformserie REFLECT ergab durchschnittlich horizontale Abweichungen von +0,04 % bis +1,16 % und von +0,0 % bis +0,04 %. Auf die Abweichungen in der Vertikalen soll hier nicht näher eingegangen werden, da es kaum vergleichbare Untersuchungen gibt, die diese beschreiben.

Bei jedem Vergleich der Ergebnisse mit den aus der Literatur zur Verfügung stehenden Messungen müssen zahlreiche Faktoren berücksichtigt werden.

Zur Untersuchung von Abformmaterialien gibt es drei grundsätzlich verschiedene Methoden.

1. Untersuchung des Materials
2. Untersuchung der Abformung mit einem Material
3. Untersuchung der von Abformungen hergestellten Arbeitsmodelle

Alle drei Methoden sind in der Literatur beschrieben worden. EFFINGER, A. (6) ging bei seinen Untersuchungen nach der ersten Methode vor und fand eine Kontraktion des Silikonmaterials bis zu 1 % nach 12 Stunden. Dies entspricht in etwa unseren Ergebnissen.
Auch SCHWICKERATH, H. (24,25,26) kam bei seinen Untersuchungen der Dimensionsstabilität von Silikonabformmaterial zu einer Kontraktion um 0,3 %. Dieses Ergebnis ist etwas geringer als die von uns gefundenen Werte. Hierbei muß jedoch berücksichtigt werden, daß kein Modell hergestellt wurde und somit die Abbindeexpansion des Gipses entfiel. Außerdem wurde kein zahnähnlicher Körper abgeformt. Beide Untersuchungen zeigen jedoch, daß bei der von uns gewählten

Abformmethode eher eine Modellvergrößerung zu erwarten war, was die Messungen auch bestätigten.
Ein indirektes Verfahren (Vermessen von Arbeitsmodellen) benutzten BERGER, H.-J. u.a. (2), BERGMANN, H. und KÖRBER, E. (3), GERATS, R. (11), KÖRBER, E. und LEHMANN, K. (14), LEHMANN, K. und BURGDORF, H.O. (15,16) sowie LENZ, E. und WELKER, D. (17).

Obwohl BERGMANN, H. und KÖRBER,E.(3) einen Stahlquader, und damit einen zahnunähnlichen Gegenstand, abformten, fanden sie eine Vergrößerung der Modelle zwischen 0,2 % und 1,4 %, was recht gut mit unseren Messungen übereinstimmt.
Mit Ausnahme von BERGER, H.-J., MARXSKORS, R und MEINERS, H.(2) gelangten alle o.a. Autoren zu Modellen, die mit den Originalen übereinstimmten oder leicht vergrößert waren. Die stärkste Abweichung fand GERATS,R.(11) mit +0,89%. Dabei muß berücksichtigt werden, daß er einen konischen Zapfen abformte, bei dem im unteren Drittel eine Rille eingefräst worden war. Beim Abziehen der Abformung wurde das die Rille darstellende Material stark verformt. Eine große bleibende Deformation kann deshalb nicht ausgeschlossen werden. Aus diesem Grund scheint eine geringere Abweichung wahrscheinlicher zu sein.
Ähnlich große Abweichungen fanden LENZ, E. und WELKER, D.(17) (+0,82 %).
Nur sehr geringe Abweichungen fanden LEHMANN, K. und BURGDORF,H.O.(15) sowie KÖRBER, E. u. LEHMANN, K.(14) (bis zu 20 µm = 0,3 %).
Obwohl die durchschnittlich von uns festgestellten Abweichungen den in der Literatur angegeben entsprechen, liegen die größten von uns bei der Abformserie SILAPLAST/SILASOFT gemessenen Werte (+1,24 %) über den vergleichbaren Messungen der Literatur. Dabei muß jedoch berücksichtigt werden, daß die Abformungen an natürlichen Zähnen durchgeführt wurden, die mit Diamantschleifern präpariert und nicht geglättet wurden, während die anderen Untersucher gedrehte Metallstümpfe mit glatter Oberfläche benutzten. Somit waren

Rauhigkeiten vorhanden, die vom niederviskösen Abformmaterial ausgefüllt wurden. Beim Abziehen der Abformlöffel wurde das Abformmaterial um den Betrag der Rauhtiefe zusammengepreßt. Dies könnte aufgrund der bleibenden Deformation zu einer stärkeren Vergrößerung des Abdrucklumens geführt haben.
Alle bisher aufgeführten Untersuchungen haben sich mit den herkömmlichen kondensationsvernetzenden Silikonen beschäftigt.
Für die additionsvernetzenden Silikone (Polyvinylsiloxane) liegen in der Literatur Untersuchungen vor von WIRZ, J. (32), VIOHL, J. (31), SAPELLI, P.L. u.a. (22) und YEH, C.l. u.a. (33). Diese Autoren geben die Abbindekontraktion mit 0,04 %, 0,1 %, 0,05 % und 0,863 % an. Übereinstimmend geben sie geringere Werte als für die kondensationsvernetzenden Silikone an.

Verbleichbar mit der hier vorliegenden Untersuchung sind die Arbeiten von LEHMANN, K. und BURGDORF, H.O. (16) sowie von EAMES, W.B. u.a. (5), da diese beiden Autoren die Untersuchungen nach der indirekten Methode durchgeführt haben. Sie kamen zu einer Breitenabweichung der Modellstümpfe von +20 µm bzw. +0,2 %.
Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß alle Untersucher eine Kontraktion der Polyvinylsiloxane beschrieben haben. Bei einer Abformung bedeutet diese Schrumpfung eine Vergrößerung des Abformlumens, wenn ein Ablösen des Materials von der Löffelwand verhindert wird.
Unsere Beobachtungen decken sich mit diesen Ergebnissen insoweit, daß auch bei uns alle Modelle, die nach Abformung mit PRESIDENT PUTTY/LIGHT BODY und REFLECT hergestellt worden waren, in der Breite vergrößert waren.
Als Ursache für die in unseren Versuchen teilweise stärkeren Abweichungen (bis +0,78 % bzw. +1,16 %) müssen neben dem Verfahren die bereits beschriebenen Fehlermöglichkeiten jeder Abformung genannt werden.
Die Vielzahl der Bedingungen, die eine Abformung beeinflussen, machen einen Vergleich der Resultate verschiedener Untersuchungen nur bedingt möglich. Es erscheint somit sinnvoll, den Vergleich auf qualitative Aussagen zu beschränken.

5.2. Meßverfahren

Ein Ziel der hier vorliegenden Arbeit war es, festzustellen, ob die Vergleichsmakroskopie für zahnärztlich-werkstoffkundliche Belange brauchbar ist.
Dieses Verfahren, das in der Kriminalistik zur täglichen Routine gehört, wurde von uns zum ersten Mal zur Klärung einer werkstoffkundlichen Frage eingesetzt. Wir stellten dabei fest, daß dieses Verfahren für den genauen Vergleich zweier Körper, die nicht geometrisch geformt sind, zahlreiche Probleme aufwirft.
So ist es unumgänglich, daß die beiden zu untersuchenden Gegenstände in allen drei Ebenen des Raumes im Makroskop identisch zueinander ausgerichtet werden. Eine unterschiedliche Lage führt zu Veränderungen im makroskopischen Bild, die in Wirklichkeit nicht vorhanden sind.
Da für das Makroskop kein Meßokular zur Verfügung stand, mußten zur Auswertung Schwarz-Weiß-Fotografien benutzt werden, wodruch sicherlich Fehler in die Ergebnisse eingeflossen sind. Da das Makroskop nur eine ganz bestimmte Ebene scharf abbildet, waren bei den unregelmäßig geformten Stümpfen unscharfe Bereiche nicht zu vermeiden. Dies führte dazu, daß die Stümpfe teilweise nicht vollständig ausgewertet werden konnten, da auf den Fotografien die Veränderungen zu undeutlich dargestellt wurden.

Aufgrund dieser vorhandenen Fehlermöglichkeiten, erschien es uns nicht sinnvoll, weitgehende diskriminierende Statisken zu erstellen, die eine Meßgenauigkeit vorgetäuscht hätten, die uns zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch fraglich erscheint.

6. AUSBLICK

Trotz der momentan noch vorhandenen Unzulänglichkeiten der Vergleichsmakroskopie, scheint der Einsatz dieses Verfahrens in zahnmedizinisch-werkstoffkundlichen Untersuchungen sinnvoll zu sein.
Der große Vorteil dieses Verfahrens besteht unserer Meinung darin, daß zwei Objekte direkt miteinander verglichen werden können und Unterschiede in Form und Größe sofort sichtbar sind.
Für weitere Untersuchungen mit Hilfe der Vergleichsmakroskopie wäre ein Meßokular wünschenswert, um zur Auswertung den Umweg über die Schwarz-Weiß-Fotografien vermeiden zu können.
Weiterhin sollten die Prüfkörper eine nicht zu unregelmäßige Form aufweisen, da dadurch das Justieren im Makroskop vereinfacht wird.

Einsatzmöglichkeiten des Vergleichsmakroskopes auf zahnmedizinischem Gebiet sehen wir bei vergleichenden Untersuchungen der Oberflächengüte von zahnärztlichen Werkstoffen, von Füllungen oder von Gußobjekten.
Auch Untersuchungen über die Paßgenauigkeit von Zahnersatz, der nach verschiedenen Methoden hergestellt wurde, wären denkbar.

7. ZUSAMMENFASSUNG

Mit der hier vorliegenden Arbeit wurde anhand natürlicher, beschliffener Zähne die Abformgenauigkeit verschiedener Abformmaterialien untersucht.
Von besonderem Interesse war dabei, ob die additionsvernetzenden Silikone den kondensationsvernetzenden überlegen sind und ob die Vergleichsmakroskopie für derartige Untersuchungen zu gebrauchen ist.
Bei den Abweichungen in der Breite zeigten die verschiedenen Abformmaterialien nur sehr geringe Unterschiede.

Die Abformserie PRESIDENT PUTTY/LIGHT BODY schnitt mit durchschnittlicher Abweichung von +15,5 µm am günstigsten ab. REFLECT ergab durchschnittliche Abweichungen von +17,2 µm und SILAPLAST/SILASOFT +17,7 µm.
Die vertikalen Abweichungen betrugen bei PRESIDENT PUTTY/LIGHT BODY durchschnittlich +6,9 µm und erbrachten damit das günstigste Ergebnis. REFLECT zeigte mit +9,6 µm ein ähnlich gutes Ergebnis, während die Abformungen mit SILAPLAST/SILASOFT zu einer durchschnittlichen Abweichung von -28,9 µm führten.
Alle Abformmaterialien ergaben Modelle, die von den Originalstümpfen mehr oder weniger stark abwichen. Mit Ausnahme einer Abformserie bei SILAPLAST/SILASOFT führten sowohl die Doppelmischabformung als auch die Einphasenabformung zu Arbeitsmodellen, die gegenüber den Originalstümpfen vergrößert waren.

Insgesamt war der Unterschied zu den Originalen und zwischen den Abformmaterialien jedoch so gering, daß es nicht sinnvoll erscheint, daraus Folgerungen für die Wertigkeit der Materialien zu ziehen und Rückschlüsse für die klinische Brauchbarkeit abzuleiten.

8. LITERATURVERZEICHNIS

1. AHRENS, G., NAUJOKS, R.
   Vergleichende Untersuchung an elastischen Abdruckmaterialien für die indirekte Inlaytechnik.
   Dtsch. zahnärztl. Z. 16, 472 - 478 (1961)

2. BERGER, H.-J., MARXKORS, R., MEINERS, H.
   Abformgenauigkeit bei ringlosen Abdrücken.
   Dtsch. zahnärztl. Z. 28, 1051 - 1054 (1973)

3. BERGMANN, H., KÖRBER, E.
   Untersuchungen über neue Abdruckmaterialien für Kronen und Brücken.
   Dtsch. zahnärztl. Z. 21, 944 - 948 (1966)

4. BRADEN, M., ELLIOT, J.C.
   Characterization of the Setting process of Silicone dental rubbers.
   J. dent. Res. 45, 1016 (1966)

5. EAMES, W.B., WALLACE, S.W., SUWAY, N.B., ROGERS, L.B.
   Accuracy and dimensional stability of elastomeric impression materials.
   J. Prosth. Dent. 42, 159 - 162 (1979)

6. EFFINGER, A.
   Volum-, Gewichts- und Elastizitätsverhalten zahnärztlicher Abdruckmassen auf Siliconbasis.
   Dtsch. zahnärztl. Z. 13, 256 - 265 (1958)

7. FINGER, W.
   Der Wärmeausdehnungskoeffizient gummielastischer Abformmaterialien.
   Dtsch. zahnärztl. Z. 28, 671 - 676 (1973)

8. FINGER, W., LOCKOWAND, P.
Abform- und Modellmaterialien, eine funktionelle Einheit.
Dtsch. zahnärztl. Z. 27, 620 - 624 (1972)

9. FRANZ, G.
Möglichkeiten und Grenzen elastischer Abformmaterialien.
Zahnärztl. Mitt. 65, 64 - 68 (1975)

10. FUCHS, P., KOBES, L.
Untersuchungen zum Dimensionsverhalten silikonhaltiger elastischer Abformmaterialien.
Dtsch. zahnärztl. Z. 21, 218 - 223 (1967)

11. GERATS, R.
Dimensionsverhalten von nach einer Doppelabdruckmethode mit gummielastischen Abdruckmaterialien hergestellten Prüfkörpern.
Dtsch. zahnärztl. Z. 18, 724 - 728 (1963)

12. HOFFMANN, M., LUDWIG, P.
Über das Dimensionsverhalten verschiedener Abdruckwerkstoffe im Hinblick auf ihre Eignung für das Korrekturabdruckverfahren.
Dtsch. zahnärztl. Z. 23, I. Teil 6 - 19, II. Teil 438 - 449 (1968)

13. ILG, V.K.
Untersuchungen zum Dimensionsverhalten der Silikone-Abdruckmassen.
Dtsch. zahnärztl. Z.

Teil I: Abdruckmaterial: ungeformt
13,1377 - 1385 (1958)

Teil II: Abdruckmaterial: geformt, Präparation: positiv
14,405 - 420 (1959)

Teil V: Abdruckmaterial: geformt, Präparation: positiv, Abdruckalter: 1 - 96 Stunden
14, 772 - 779 (1959)

13. ILG, V.K.

Fortsetzung v. Seite 53

Teil VII: Abdruckmaterial: geformt, Präparation: positiv und negativ, Alter der Abdrücke: 5,8 u. 14 Tage, Temperatur: 5 - 35° C.

14, 1079 - 1084 (1959)

Teil IX: Abdruckmaterial: geformt, aber mit verschieden großer Wandstärke, Präparation: positiv, Alter der Abdrücke: verschieden

15, 427 - 434 (1960)

Teil X: Zusammenfassung

15, 1202 - 1209 (1960)

14. KÖRBER, E., LEHMANN, K.

Vergleichende Untersuchung bei Abdruckmaterialien für Kronen und Brücken.

Dtsch. zahnärztl. Z. 24, 791 - 797 (1969)

15. LEHMANN, K.M., BURGDORF, H.O.

Untersuchungen zu zweizeitigen Abformverfahren für Kronen und Brücken (Korrekturabdruck).

Zahnärztl. Welt/Reform 87, 430 - 433 (1978)

16. LEHMANN, K.M., BURGDORF, H.O.

Untersuchungen an einzeitigen Abformverfahren für Kronen und Brücken (Doppelmischabdruck).

Zahnärztl. Welt/Reform 87, 434 - 436 (1978)

17. LENZ, E., WELKER, D.

Untersuchungen der physikalischen Eigenschaften und des Formverhaltens von Silikonmassen und -abformungen.

Dtsch. Stomat. 19, 487 - 501 (1969)

18. LENZ, E.
Werkstoffkundliche Grundlagen des Abformens mit Silikon-Elastomeren.
Dtsch. Stomat. 26, 331 - 340 (1976)

19. MEINERS, H.
Abformgenauigkeit mit elastomeren Abformmaterialien.
Carl Hanser Verlag, München/Wien (1977)S.30-35,51-54,65-76,92-95

20. MEINERS, H.
Eigenschaft und Genauigkeit von elastomeren Abformmaterialien (Polysulfide, Silikone, Polyäther).
Zahnärztl. Welt/Reform 87, 426 - 430 (1978)

21. REHBERG, H.J.
Elastomere Abformmassen.
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 80, 1007 - 1021 (1970)

22. SAPELLI, P.L., BRUSOTTI, C., FUMAGELLI, G.
Additionsvernetzte Polysiloxane - eine neue Silikongeneration.
Quintess. zahnärztl.Lit. 28, 137 - 143 (1977)

23. SHILLINGBURG, H.T., HOBO, S., FISCHER, D.W.
Atlas der Kronenpräparation.
Buch- und Zeitschriftenverlag "Die Quintessenz" Berlin S. 26 - 28 (1974)

24. SCHWICKERATH, H.
Grundsätzliches zur Abformung und den Abformmaterialien.
Dtsch. zahnärztl. Z. 27, 91 - 95 (1972)

25. SCHWICKERATH, H.
Zur Form- und Wiedergabegenauigkeit von elastomeren Abformmaterialien.
Dtsch. zahnärztl. Z. 27, 616 - 619 (1972)

26. SCHWICKERATH, H.
Das Formverhalten von Abformmaterialien im Versuch und in der Praxis.
Dtsch. zahnärztl. Z. 31, 660 - 684 (1976)

27. SCHWINDLING, R.
Lineare Dimensionsveränderungen elastomerer Silikonstoffe für das Doppelabdruckverfahren.
Zahnärztl. Welt/Reform 79, 771 - 776 (1970)

28. STACHNISS, V., KOLBOW, G.
Fehler bei der Korrekturabformung und ihre Vermeidung.
Dtsch. zahnärztl. Z. 32, 934 - 936 (1977)

29. STANNARD, J.G., CRAIG, R.G.
Modifying the Setting Rate of an Addition-Type Silicone Impression Material.
J. dent. Res. 58 (4), 1377 - 1382 (1979)

30. STÜBEN, J.
Vergleichende Untersuchung an modernen, in der Odonto-Stomatologie verwendeten elastischen Abdruckmaterialien.
Schw. Mschr. Zahnhlk. 73, 1012 - 1028 (1963)

31. VIOHL, J.
Abformwerkstoffe in EICHNER.
Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung.
Dr.Alfred Hüthig Verlag, Heidelberg, Band 2, 45 - 70 (1981)

32. WIRZ, J.
Elastomere Abformstoffe
Persönliche Mitteilungen 1981

33. YEH, C.L., POWERS, J.M., CRAIG, R.G.
Properities of addition-typ Silicone impression materials.
J. Amer.dent. Ass. 101, 482 - 484 (1980)

9. ANHANG

HORIZONTALABWEICHUNGEN UND VERTIKALABWEICHUNGEN IN APPROXIMALANSICHT (in µm)

A B F O R M M A T E R I A L

PRÄPARATION	MESSPUNKT	SILAPLAST SILASOFT		PRESIDENT PUTTY LIGHT BODY		REFLECT	
TANGENTIAL	1	n.a.		+ 26,4			
	2	n.a.		+ 30,4			
	3	n.a.	$\bar{x}$=-15,8	+ 33	$\bar{x}$=+20,3		$\bar{x}$=
	4	n.a.		+ 31,6			n.a.
	5	n.a.		+ 10,6			
	6	n.a.	0=± 3,6	+ 9,2	0=±10,9		0=±
	7	- 18,4		+ 10,6			
	8	- 13,2		+ 10,6			
	9	- 46,2	$\bar{x}$=-48,8	n.a.	$\bar{x}$=+34,3		$\bar{x}$= n.a.
	10	n.a.		+ 42,2			
	11	- 51,4	0=± 3,6	+ 26,4	0=±11,2		0=±
SCHULTER	1	± 0		n.a.		n.a.	
	2	+ 2,6		n.a.		+ 15,8	
	3	+ 6,6	$\bar{x}$=+ 5,9	n.a.	$\bar{x}$=+79	+ 46,2	$\bar{x}$=+21,0
	4	n.a.		n.a.		+ 39,2	
	5	n.a.		n.a.		± 0	
	6	+ 6,6	0=± 4,5	n.a.	0=±	+ 0	0=±37,9
	7	+ 6,6		n.a.		- 38,4	
	8	+ 13,2		+ 79		- 43,6	
	9	+ 19,8	$\bar{x}$=+24,1	+ 16,5	$\bar{x}$=+30,5	- 22,4	$\bar{x}$=-30,3
	10	+ 24,8		+ 44,5		- 17,2	
	11	+ 27,8	0=± 4,0	n.a.	0=±19,8	- 51,4	0=±18,4
HOHLKEHLE	1	+126,8		+ 33		+ 5,2	
	2	+136		+ 26		+ 5,2	
	3	+138,6	$\bar{x}$=+63,4	+ 13,2	$\bar{x}$=+ 9,0	+ 5,2	$\bar{x}$=+ 2,2
	4	+ 99		± 0		+ 5,2	
	5	- 34,4		± 0		- 2,6	
	6	- 59,4	0=±14,2	± 0	0=±13,6	- 2,6	0=± 0,9
	7	- 70,0		± 0		- 2,6	
	8	- 83,2		± 0		- 4,3	
	9	n.a.	$\bar{x}$= n.a.	n.a.	$\bar{x}$= n.a.	n.a.	$\bar{x}$=+ 1,1
	10	n.a.		n.a.		0	
	11	n.a.	0=±n.a.	n.a.	0=±	+ 2,2	0=± 1,5

HORIZONTALABWEICHUNG UND VERTIKALABWEICHUNG IN BUCCALANSICHT (in µm)

A B F O R M M A T E R I A L

PRÄPARATION	MESSPUNKT	SILAPLAST SILASOFT		PRESIDENT PUTTY LIGHT BODY		REFLECT	
TANGENTIAL	1	± 0					
	2	± 0					
	3	± 0	$\bar{x}$=-7,4		$\bar{x}$=		$\bar{x}$=
	4	± 0			n.a.		n.a.
	5	± 0					
	6	± 0	0=±21,0		0=±		0=±
	7	± 0					
	8	- 59,4					
	9	- 66	$\bar{x}$=-61,1		$\bar{x}$=		$\bar{x}$=
	10	- 66	0=± 8,4		n.a.		n.a.
	11	- 51,4			0=±		0=±
SCHULTER	1	n.a.					
	2	n.a.					
	3	n.a.	$\bar{x}$=+49,5		$\bar{x}$=		$\bar{x}$=
	4	n.a.			n.a.		n.a.
	5	n.a.					
	6	n.a.	0=±23,3		0=±		0=±
	7	+ 33					
	8	+ 66					
	9	- 19,8	$\bar{x}$=-29,7		$\bar{x}$=		$\bar{x}$=
	10	- 19,8	0=±17,1		0=±		0=±
	11	- 49,5					
HOHLKEHLE	1					± 0	
	2					± 0	
	3		$\bar{x}$=		$\bar{x}$=	± 0	$\bar{x}$=±0
	4					± 0	
	5		n.a.		n.a.	± 0	n.a.
	6		0=±		0=±	± 0	0=±0
	7					± 0	
	8					± 0	
	9		$\bar{x}$=		$\bar{x}$=	+ 26	$\bar{x}$=+34
	10		n.a.		n.a.	+ 51	
	11		0=±		0=±	+ 25	0=±14,7

HORIZONTALABWEICHUNG UND VERTIKALABWEICHUNG IN BUCCALANSICHT (in µm)

ABFORMMATERIAL

PRÄPARATION	MESSPUNKT	SILAPLAST SILASOFT		PRESIDENT PUTTY LIGHT BODY		REFLECT	
HOHLKEHLE MIT ABSCHRÄGUNG	1	± 0					
	2	± 0					
	3	± 0	$\bar{x}$=±0		$\bar{x}$= n.a.		$\bar{x}$= n.a.
	4	± 0					
	5	± 0					
	6	± 0	0=±0		0=±		0=±
	7	± 0					
	8	± 0					
	9	- 17,2	$\bar{x}$=-29,5		$\bar{x}$= n.a.		$\bar{x}$= n.a.
	10	- 42,5					
	11	- 29	0=±12,7		0=±		0=±
STUFE	1	n.a.		n.a.		n.a.	
	2	+ 66		+ 73,8		± 0	
	3	+ 85,6	$\bar{x}$=+33,3	+ 71,2	$\bar{x}$=+31,3	+ 5,2	$\bar{x}$=+ 1,7
	4	+ 81,8		+ 73,8		+ 6,6	
	5	± 0		± 0		± 0	
	6	± 0	0=±42,0	± 0	0=±38,9	± 0	0=± 2,9
	7	± 0		± 0		± 0	
	8	± 0		± 0		± 0	
	9	n.a.	$\bar{x}$= n.a.	± 0	$\bar{x}$=+ 8,6	n.a.	$\bar{x}$=
	10	n.a.		+ 13		n.a.	
	11	n.a.	0=± n.a.	+ 13	0=± 7,5	n.a.	0=±
STUFE MIT ABSCHRÄGUNG	1	± 0		+ 23,0		n.a.	
	2	+ 9,2		+ 52,7		± 0	
	3	+ 19,8	$\bar{x}$=+ 3,6	+ 35,6	$\bar{x}$=+22,5	± 0	$\bar{x}$=+ 1,1
	4	± 0		+ 46,2		± 0	
	5	± 0		n.a.		± 0	
	6	± 0	0=± 7,3	± 0	0=±22,9	± 0	0=± 2,7
	7	± 0		± 0		+ 6,6	
	8	± 0		± 0		n.a.	
	9	- 66	$\bar{x}$=-66	+ 33	$\bar{x}$=+23	- 89	$\bar{x}$=-89
	10	n.a.		+ 10		n.a.	
	11	n.a.	0=±	+ 26	0=±11,8	n.a.	0=±

HORIZONTALABWEICHUNGEN UND VERTIKALABWEICHUNGEN IN APPROXIMALANSICHT (in µm)

A B F O R M M A T E R I A L

PRÄPARATION	MESSPUNKT	SILAPLAST SILASOFT		PRESIDENT PUTTY LIGHT BODY		REFLECT	
HOHLKEHLE MIT ABSCHRÄGUNG	1			n.a.		+ 46,2	
	2			+ 26,4		+ 76,6	
	3		$\bar{x}$=	+ 13,2	$\bar{x}$= + 5,9	+ 83,2	$\bar{x}$=+68,7
	4			+ 22,4		+ 11,9	
	5		n.a.	- 16,5		- 6,6	
	6		0=±	- 11,8	0=± 4,6	- 6,6	0=±41,1
	7			- 15,8		- 4	
	8			- 46,2		- 33	
	9		$\bar{x}$= n.a.	- 76,0	$\bar{x}$=-56,3	- 6,6	$\bar{x}$=- 3,3
	10		0=±	- 48,3	0=±17,2	0	0=± 4,7
	11			- 44,5		n.a.	
STUFE	1	± 0		± 0		+ 48,6	
	2	+ 36,8		+ 35,6		+ 46,2	
	3	+ 42,2	$\bar{x}$=+17,0	± 0	$\bar{x}$=+10,3	+ 46,2	$\bar{x}$=+25,4
	4	+ 26,4		n.a.		+ 26,4	
	5	± 0		± 0		± 0	
	6	+ 0	0=±18,7	+ 13,2	0=±13,9	+ 0	0=±22,2
	7	± 0		± 13,2		± 0	
	8	+ 30,4		n.a.		+ 35,6	
	9	- 1,4	$\bar{x}$=- 2,1	n.a.	$\bar{x}$=+ 7,9	+ 38,2	$\bar{x}$=+47,1
	10	- 13,2	0=±10,8	+ 9,2	0=± 1,9	+ 50,2	0=± 7,8
	11	+ 8,3		+ 6,5		+ 52,8	
STUFE MIT ABSCHRÄGUNG	1	- 6,6		+ 42,2			
	2	± 0		+ 30,4			
	3	± 0	$\bar{x}$=+27,0	+ 17,2	$\bar{x}$=+ 9,6		$\bar{x}$=
	4	± 0		+ 6,6			n.a.
	5	± 6,6		± 0			
	6	+ 6,6	0=±37,6	- 7,8	0=± 4,5		0=±
	7	+ 77,5		- 14,4			
	8	+ 72,5		- 35,6			
	9	± 0	$\bar{x}$=-17,8	- 19,8	$\bar{x}$=+0		$\bar{x}$= n.a.
	10	n.a.	0=±25,2	n.a.	0=±		0=±
	11	- 35,6		+ 19,8			

DANKSAGUNG

Herrn Professor Dr.E. Körber gilt mein besonderer Dank für die freundliche Überlassung des Themas.

Bei Herrn Dr.W.B. Freesmeyer möchte ich mich für die tatkräftige Unterstützung während der gesamten Arbeit bedanken.

Mein Dank gilt weiterhin Herrn Dr.W. Lindemann für die hilfreichen Anregungen bei der Versuchsdurchführung.
Bei Herrn Kürner bedanke ich mich für die Hilfe bei der Herstellung des Abformgerätes.

Der Landespolizeidirektion Tübingen, insbesondere Herrn Schmid, danke ich für die großzügige Bereitstellung des Vergleichsmakroskopes.

LEBENSLAUF

Ich, Ralf Dieter Eisenmann, wurde am 12.11.1950 als Sohn des Maschinenbauingenieurs Walter Eisenmann und seiner Ehefrau Margot, geb. Himmel in Rastatt/Baden geboren.

Von 1960 bis 1964 besuchte ich die Grundschule in Auenheim Kreis Kehl. Danach wechselte ich auf das naturwissenschaftliche Gymnasium in Kehl, wo ich im Sommer 1969 das Abitur ablegte.

Von Oktober 1969 bis Oktober 1974 diente ich bei der Bundeswehr als Soldat auf Zeit.

Im Wintersemester 1974 begann ich an der Universität Tübingen mit dem Studium der Zahnmedizin.

Im Sommer 1977 heiratete ich Roswitha Kmitta.

Das Studium schloß ich am 18.12.1979 mit dem Staatsexamen ab.

Seit 15.4.1980 arbeite ich als wissenschaftlicher Angestellter in der prothetischen Abteilung des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universität Tübingen.